

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ANÁPOLIS – UNIEVANGÉLICA**  
**CAMPUS CERES**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**DÉBORA BISPO VIEIRA**  
**WELBER VAZ DE MENEZES FILHO**

**CONCRETO COM REFORÇO HÍBRIDO DE FIBRAS DE**  
**POLIPROPILENO/ SISAL E AÇO/ SISAL**

**PUBLICAÇÃO N°:**

**CERES / GO**  
**2021**

**DEBORA BISPO VIEIRA  
WELBER VAZ DE MENEZES FILHO**

**CONCRETO COM REFORÇO HÍBRIDO DE FIBRAS DE  
POLIPROPILENO/ SISAL E AÇO/ SISAL**

**PUBLICAÇÃO Nº:**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA.**

**ORIENTADOR: VILSON DALLA LIBERA JUNIOR**

**CERES / GO: 2021**

## FICHA CATALOGRÁFICA

VIEIRA, DÉBORA BISPO; MENEZES FILHO, WELBER VAZ DE.

Concreto com reforço híbrido de fibras de polipropileno/sisal e aço/sisal. 2021  
xi, XXP, 297 mm (UniEVANGÉLICA, Bacharel, Engenharia Civil, 2021).

TCC - UniEVANGÉLICA

Curso de Engenharia Civil.

1. Sisal

2. Aço

3. Polipropileno

4. Concreto

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

VIEIRA, D. V., MENEZES FILHO, W. V. Concreto com reforço híbrido de fibras de polipropileno/sisal e aço/sisal. 2021. TCC, Publicação ENC. PF-001A/21, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA Campus Ceres, Ceres, GO, 29 p. 2021.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Débora Bispo Vieira e Welber Vaz de Menezes Filho.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Concreto com reforço híbrido de fibras de polipropileno/sisal e aço/sisal.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2021

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

*Débora Bispo Vieira*

Débora Bispo Vieira

Rua 273 Qd. 25 Lt 17, Jard. Tropical, Ceres-GO

[deboravieira26@gmail.com](mailto:deboravieira26@gmail.com)

*Welber Vaz de Menezes Filho*

Welber Vaz de Menezes Filho

Rua 16 nº 421 apto 07, Centro, Ceres-GO

[fmvwelber@gmail.com](mailto:fmvwelber@gmail.com)

**DEBORA BISPO VIEIRA  
WELBER VAZ DE MENEZES FILHO**

**CONCRETO COM REFORÇO HÍBRIDO DE FIBRAS DE  
POLIPROPILENO/SISAL E AÇO/SISAL**

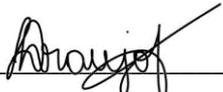
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

**APROVADO POR:**



---

**VILSON DALLA LIBERA JUNIOR, Mestre (Centro Universitário de Anápolis –  
UniEVANGÉLICA, Campus Ceres)  
(ORIENTADOR)**



---

**LINCONL ARAUJO TEIXEIRA, Mestre (Universidade de Brasília - UnB)  
(EXAMINADOR EXTERNO)**



---

**RODRIGO NASCIMENTO PORTILHO DE FARIA, Mestre (Centro Universitário de  
Anápolis – UniEVANGÉLICA, Campus Ceres)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: CERES/GO, 07 de JUNHO de 2021.**

## CONCRETO COM REFORÇO HÍBRIDO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO/SISAL E AÇO/SISAL

Debora Bispo Vieira<sup>1</sup>  
Welber Vaz de Menezes Filho<sup>2</sup>  
Wilson Dalla Libera Junior <sup>3</sup>

### RESUMO

Considerando a necessidade de potencializar as propriedades do concreto, diversos tipos de fibras vêm sendo utilizadas como reforço, sobretudo fibras sintéticas como as de aço e polipropileno. Porém, visando economia e redução do impacto ambiental, as fibras naturais, tais como as de sisal, têm surgido como uma alternativa sustentável, barata e eficiente como reforço, pois apresentam boas características de resistência mecânica. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo produzir concreto utilizando reforço híbrido de fibras de aço/sisal e polipropileno/sisal, avaliar suas propriedades físicas e mecânicas. Inicialmente, as fibras de sisal utilizadas foram tratadas com uma solução de NaOH 5%. Em seguida, análises de FTIR e absorção de água foram realizadas para avaliar a eficiência do tratamento. Foram produzidos traços de concreto reforçados com 0,5% de fibras sobre o volume de concreto, sendo parte dos traços com fibras puras, e parte com reforço híbrido. A caracterização mecânica com concreto foi realizada através dos ensaios de compressão simples, tração por compressão diametral e flexão em corpos de prova prismáticos. A análise do abatimento indicou que as fibras de sisal e polipropileno diminuíram a trabalhabilidade do concreto, enquanto a adição de fibras de aço não alterou a sua consistência. O estudo das propriedades mecânicas do concreto indicou que os traços com reforço de fibras puras apresentaram valores de resistência superiores ao concreto convencional. Entre os traços com reforço híbrido avaliados, os traços com 50% de sisal e 50% de aço ou polipropileno alcançaram resistências próximas aos traços com fibras sintéticas puras. A substituição parcial das fibras sintéticas por fibras sisal é considerada vantajosa em concretos aplicados em elementos estruturais. Além de aumentar a resistência à tração, flexão, e não comprometer a resistência a compressão, a adição de fibras naturais no concreto ajuda no controle de fissuração e promove a utilização de materiais sustentáveis.

**Palavras-chave:** Sisal. Aço. Polipropileno. Concreto.

---

1 Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: [deboravieira26@gmail.com](mailto:deboravieira26@gmail.com)

2 Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: [fmvwelber@gmail.com](mailto:fmvwelber@gmail.com)

3 Mestre, Professor do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: [wilson.dalla@gmail.com](mailto:wilson.dalla@gmail.com)

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>5</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1 Concreto com reforço de fibras</b> .....	<b>7</b>
2.1.1 <i>Contexto histórico</i> .....	7
2.1.2 <i>Propriedades mecânicas</i> .....	8
<b>2.2 Fibras naturais como reforço</b> .....	<b>9</b>
2.2.1 <i>Fibras de sisal</i> .....	10
2.2.2 <i>Tratamento superficial</i> .....	10
2.2.3 <i>Propriedades mecânicas</i> .....	11
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1 Materiais</b> .....	<b>12</b>
3.1.1 <i>Água, agregados e cimento</i> .....	12
3.1.2 <i>Fibras</i> .....	12
<b>3.2 Processamento e caracterização das fibras de sisal</b> .....	<b>12</b>
3.2.1 <i>Tratamento das fibras</i> .....	12
3.2.2 <i>FTIR (Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier)</i> .....	13
3.2.3 <i>Índice de absorção de água</i> .....	13
<b>3.3 Produção dos compósitos cimentícios</b> .....	<b>13</b>
<b>3.4 Ensaios no concreto</b> .....	<b>15</b>
3.4.1 <i>Ensaio de abatimento do concreto</i> .....	15
3.4.2 <i>Ensaios mecânicos</i> .....	15
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>4.1 Efeito do tratamento nas fibras de sisal</b> .....	<b>15</b>
4.1.1 <i>FTIR (Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier)</i> .....	15
4.1.2 <i>Absorção total das fibras de sisal</i> .....	16
<b>4.2 Análise da trabalhabilidade do concreto</b> .....	<b>17</b>
<b>4.3 Avaliação das propriedades mecânicas</b> .....	<b>19</b>
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>23</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>24</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das maiores preocupações no ramo da construção civil nos dias de hoje tem sido seu impacto ao meio ambiente e a maneira na qual os recursos naturais vêm sendo utilizados, diminuir o consumo e melhorar as propriedades físicas desses recursos tem sido foco de estudos em torno de todo o mundo. Atualmente, o material mais largamente utilizado na construção civil é o concreto, normalmente feito com a mistura de cimento Portland, areia, pedra e água (DURAN; FRACARO, 2011).

Isso se deve à sua fácil confecção, e alta flexibilidade para aplicação enquanto está no seu estado fresco. Quando endurecido, apresenta aumento na rigidez e considerável resistência mecânica à compressão, mas baixa resistência a tração. Geralmente as limitações em relação à tração são compensadas com adição de barras de aço, formando assim, o concreto armado. Entretanto, outras possibilidades de reforço do concreto surgiram ao longo do tempo, entre elas pode-se destacar a adição de fibras na matriz cimentícia (FIGUEIREDO, 2011).

Uma ampla variedade de fibras tem sido utilizada como reforço de concretos a base de cimento Portland, tais como as fibras de aço, polipropileno e vidro. Uma das fibras mais difundidas é a fibra de aço, que tende a aumentar a resistência mecânica da tração, tenacidade e durabilidade do concreto. Entretanto, fibras poliméricas como de polipropileno têm ganhado cada vez mais espaço, visto que podem apresentar vantagens tecnológicas sobre o metal, como, por exemplo, resistência à corrosão, melhor trabalhabilidade e ausência de interferência magnética e elétrica (SILVA NETO, 2018).

A aplicação de fibras de aço e de polipropileno, embora muito eficientes, apresentam algumas desvantagens, principalmente em relação ao alto valor agregado e características não renováveis. Uma alternativa atraente seria a sua substituição parcial ou total por fibras vegetais, que são o foco desse estudo. Essas fibras apresentam custo reduzido e propriedades mecânicas semelhantes as fibras tradicionais. Entre as fibras vegetais utilizadas atualmente, destacam-se as fibras de algodão, coco, linho, sisal, juta, cânhamo, gourde de esponja, piaçava, bagaço de cana e curauá (CAMPILHO, 2016).

Dentre as diversas fibras vegetais, as fibras de sisal (*Agave sisalana*) têm-se destacado, uma vez que possuem propriedades mecânicas atraentes, apresentam características renováveis e baixo valor agregado, além de serem abundantes no Brasil (BORGES, MOTTA E PINTO, 2019). No Brasil, o cultivo do sisal se concentra na região Nordeste, sendo o estado da Bahia o principal produtor, com 93,5% da produção nacional (MARTIN, MATTOSO E SILVA, 2009). As principais vantagens da utilização deste material são a ampla disponibilidade, o baixo custo, origem renovável e caráter atóxico, além de incentivar a economia de comunidades locais e apresentar bom comportamento mecânico, resistência à tração, e capacidade de deformação (DANTAS, 2019).

Apesar das excelentes propriedades, as fibras vegetais apresentam altas taxas de absorção de água, o que confere uma instabilidade dimensional as fibras, e prejudica a interação fibra/ matriz, comprometendo a transferência de esforços dentro do material compósito. Diversos tratamentos podem ser usados para reduzir a instabilidade volumétrica das fibras e aumentar sua afinidade com a matriz. Esses procedimentos visam limpar a superfície da fibra vegetal e modificar sua estrutura química, diminuindo a absorção de

umidade e aumentando a rugosidade da superfície (FERREIRA et al., 2016). Entre os tratamentos utilizados, o tratamento alcalino tem-se destacado, pois confere maior rugosidade às fibras, e conseqüentemente melhora a adesão com a matriz (PAULA, 1996).

O tratamento apresenta a capacidade de limpar a superfície da fibra de ceras e graxas, além de remover parcialmente a hemicelulose e lignina. De acordo com Kim e Netravali (2010), a remoção parcial da hemicelulose e da lignina causa um aumento no teor de celulose, que é o principal componente responsável pela resistência das fibras. O tratamento, portanto, melhora a interação da fibra com a matriz, além de potencializar suas propriedades mecânicas.

Considerando as boas características das fibras vegetais tratadas como reforço do concreto, diversos autores desenvolveram trabalhos que obtiveram resultados promissores. Izquierdo (2011) avaliou a incorporação de fibras de sisal em concretos para alvenaria de blocos estruturais. Em seu estudo, os elementos com adição de fibras demonstraram ganhos na capacidade de deformação e ductilidade, além de terem um processo de ruptura progressivo, assim, pode-se afirmar que as fibras de sisal podem ser reforços eficientes, contribuindo com a resistência do material. Lima et al. (2013) avaliaram a resistência a tração de compósitos cimentícios com reforço de volumes de 1%, 2% e 3% (Volume) de fibras curtas de sisal. Os resultados encontrados indicaram um aumento no valor da tensão pós-fissuração e na energia de fratura com a adição das fibras, resultando em um material mais dúctil.

Considerando o crescente consumo de concreto no mundo, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas para solucionar algumas de suas limitações, podendo-se destacar a baixa resistência à tração e comportamento frágil durante o processo de fissuração. O concreto pode sofrer pequenas fissuras mesmo antes de qualquer aplicação de carga, e quando solicitado por cargas de estruturas ou intempéries, as fissuras podem aumentar até a sua falha (SILVA NETO, 2018). Contudo, sabe-se que a adição de fibras na matriz pode reduzir a fragilidade do concreto e aumentar a tenacidade à fratura. As fibras atuam como membros de ligação, segurando a trinca e se tornando fonte de dissipação de energia. Isso retarda a falha, resultando na mudança do comportamento de falha do compósito, de frágil para quase frágil (SASMAL e AVINASG, 2016).

As fibras sintéticas, embora muito utilizadas, apresentam desvantagens consideráveis, como a sensibilidade à luz do sol e oxigênio, baixo módulo de elasticidade e fraca aderência com a matriz cimentícia, alto custo e em alguns casos corrosão (LUCENA, 2017). Portanto, surgiu no mercado da construção civil uma corrida por materiais mais baratos e sustentáveis e que apresentem resultados satisfatórios de resistência e viabilidade. Diversos estudos apontam o uso de fibras vegetais como uma excelente alternativa de reforços nos compósitos cimentícios (IZQUIERDO, 2011; SANTOS, 2016; DANTAS, 2019;). Deste modo, a aplicação de fibras de sisal em compósitos cimentícios apresenta-se como uma alternativa atraente as fibras tradicionais utilizadas.

Neste contexto, o objetivo desse estudo foi produzir concreto utilizando reforço híbrido de fibras de aço/sisal e polipropileno/sisal, avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos concretos e estudar as propriedades físicas e químicas das fibras de sisal utilizadas como material de reforço.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Concreto com reforço de fibras**

#### *2.1.1 Contexto histórico*

A descoberta do concreto no fim do século XIX e o seu intensivo uso no século XX, transformaram este no material mais consumido pelo homem depois da água (ISAIA, 2007). O uso difundido do concreto deve-se a sua facilidade de fabricação, já que ele é formado por um material aglomerante (o cimento), água e agregados, que o transformam em um tipo de rocha artificial, além disso este material apresenta boa trabalhabilidade no estado fresco e elevada resistência quando exposto a grandes cargas no estado endurecido. Devido ao seu amplo uso, diversos estudos sobre o concreto têm sido realizados visando melhorar tanto seu custo de produção quanto suas propriedades físicas, visto que, apesar de apresentar grande resistência a compressão o concreto não armado é um material frágil, quebradiço e não trabalha bem quando exposto a esforços de tração.

Uma alternativa para melhorar as propriedades do concreto é reforçando com outros materiais, formando assim um compósito cimentício. Um compósito é a combinação de dois ou mais materiais que juntos têm propriedades que os componentes isolados não apresentam. Eles são, portanto, compostos de duas fases: a matriz e o elemento de reforço, e são desenvolvidos para aperfeiçoar os pontos fortes de cada uma das fases (BUDINSKI, 1996). O uso de materiais compósitos como alternativa na construção civil é tão antigo quanto a história das primeiras construções. Um exemplo são os adobes egípcios reforçados com palha, utilizados a cerca de 3000 a.c. (TANESI; FIGUEIREDO, 1999).

Com o avanço da tecnologia e a descoberta de novos materiais descobriu-se que o uso de fibras sintéticas no concreto pode melhorar suas características, entre elas melhorar sua resistência quando submetido ao esforço de tração. O concreto reforçado com fibras (CRF) começou a ser estudado apenas na década de 1960, quando engenheiros buscavam um novo tipo de concreto que solucionasse alguns dos problemas de desempenho que encontravam em canteiros de obra ao trabalhar com o concreto comum.

Nos últimos anos, diversos tipos de fibras que vem sendo utilizadas como reforço ao concreto, entre eles destacam-se as fibras de aço e de polipropileno. Porém, o grande volume necessário de matéria prima mineral e química para a sua produção, bem como os resíduos gerados e o descarte dos mesmos, causam grandes efeitos negativos no meio ambiente, fazendo com que algumas fibras não sejam atrativas do ponto de vista ecológico (AUERSVALDT; LAY; MIRANDA, 2019). Nesse contexto a substituição das fibras sintéticas pelos naturais passa a se tornar viável. O concreto reforçado com fibras pode ser aplicado em vários setores da construção apresentando melhores resultados de desempenho quando comparados com o concreto comum. Segundo Figueiredo (2011), em 2010, 74% do uso de CRF estava ligado à aplicação em pavimentos industriais. Em segundo lugar com 20% o uso para concretos projetados os outros 6% se dividem igualmente entre pré-moldados e outros tipos de aplicação.

### 2.1.2 Propriedades mecânicas

O concreto reforçado com fibras apresenta melhorias em suas propriedades mecânicas quando comparado com o concreto convencional. O uso de fibras de aço, assim como de polipropileno confere ao concreto novas propriedades, como a melhora na tenacidade a flexão, resistência à fadiga e ao impacto. A principal função das fibras aplicadas a uma matriz cimentícia é aumentar a capacidade de absorção de energia, tornando então capaz de controlar o processo de fissuração e a expansão lateral do concreto e, desse modo, aumentar a ductilidade desses elementos estruturais (LIMA JUNIOR, 2003). As fibras são utilizadas para controle de fissuração especialmente em elementos de maior espessura, como pavimentos e lajes. Nestes casos, as fibras funcionam como reforço secundário (FIGUEIREDO, 2011).

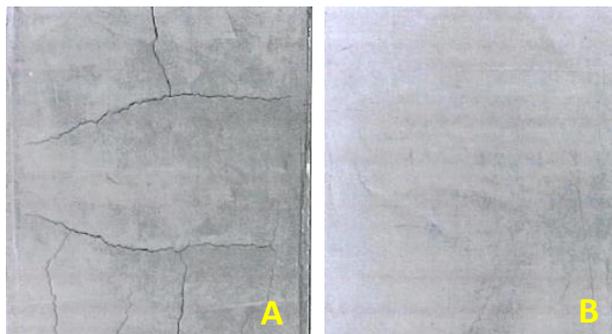
De acordo com Medeiros (2012), as fibras de aço são as mais utilizadas em elementos estruturais de concreto devido ao seu alto módulo de elasticidade. Essas fibras contribuem no controle de fissuras, resistência à flexão, resistência ao impacto e à fadiga. Ainda, sobre a utilização das fibras de polipropileno em elementos de concreto, pode-se citar o fato de que o material é quimicamente inerte, não absorve água, é imputrescível e não enferruja. A tabela 1 apresenta as propriedades mecânicas de fibras sintéticas e naturais, onde nota-se que as fibras de aço possuem maiores valores de módulo de elasticidade e resistência à tração.

**Tabela 1** – Propriedades de resistência mecânica de fibras sintéticas e naturais

Fibras	Módulo de Elasticidade (GPa)	Resistência à tração (Mpa)	Referência
Aço	210	500 - 2000	NBR 15530
Polipropileno	3	300	Macafferri
Vidro	70-80	2000 - 4000	Bentur; Mindess, (1990)
Sisal	10 - 25	369 - 671	Martin. <i>et al</i> (2009)
Carauá	20 -36	859 - 1404	Bledzki, Glassan. (1999)
Juta	26,5	393 -773	Bledzki, Glassan. (1999)

Já as fibras de baixo módulo, embora apresentem valores inferiores de resistência à tração, quando são adicionadas ao concreto, as propriedades de maleabilidade das fibras são transmitidas ao concreto, que passa a trabalhar melhor na deformação, assim, as fissuras são controladas conforme apresentado na Figura 1 (SOUSA FILHO, 2012).

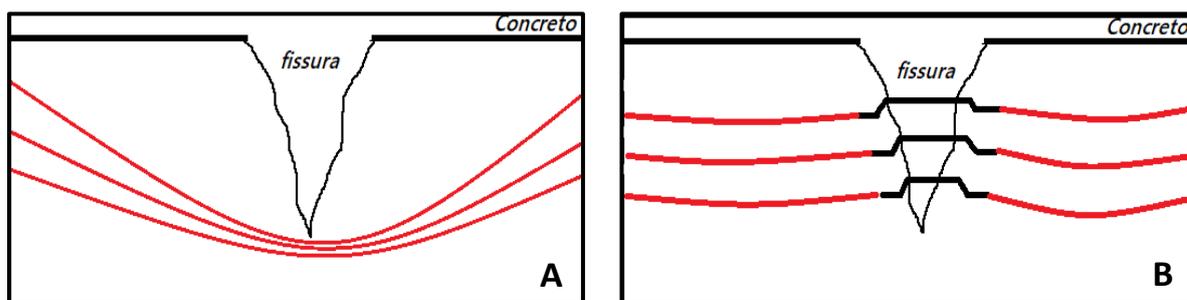
**Figura 1** - Concreto com fissuras sem adição de fibras (a). Concreto com adição de fibras de polipropileno: fissuras reduzidas (b).



Fonte: Adaptado de Sousa Filho (2012)

Roque (2015) cita que as propriedades mecânicas das fibras vegetais como resistência à tração e o módulo de elasticidade longitudinal podem variar de acordo com o local, clima, e época em que as fibras foram coletadas. A figura 2 demonstra como as fibras atuam dentro do concreto, funcionando como pontos de transferência das tensões que no concreto sem fibras são levadas para a ponta da fissura, o que acaba provocando seu aumento.

**Figura 2** –Ação das tensões no concreto comum quando fissurado (a). Ação das tensões no concreto enriquecido com fibras (b).



Fonte: Próprio autor (2020)

## 2.2 Fibras naturais como reforço

A procura por materiais de construção que provoquem baixo, ou nenhum impacto no meio ambiente, assim como sua origem renovável e a capacidade de suprir todas as necessidades para o qual são usados tem provocado o aumento do número de pesquisas em torno de fibras de origem natural como reforço ao concreto, podendo substituir as fibras sintéticas (SILVA, 2009). A substituição de fibras sintéticas por fibras de origem natural pode contribuir para a redução no custo do concreto e diminuição da energia gasta em sua produção quando comparadas com as sintéticas. Além disso, quando usadas no concreto, as fibras naturais apresentam resultados satisfatórios quando submetidos a tração, diminuindo a aparição e propagação de fissuras quando comparados com o concreto sem nenhum tipo de adição de fibra.

As fibras vegetais podem ser extraídas das folhas como a fibra de sisal; do talo ou tronco vegetal como as fibras de juta e rami; do caule como o bambu e a cana de açúcar e do fruto como a fibra de coco e algodão (BORGES, MOTTA e PINTO, 2019). Segundo John e Thomas (2008), a composição química das fibras naturais é composta principalmente de celulose, lignina e hemicelulose. Também tendo a presença de pectina, óleos e ceras, porem em menor quantidade.

A celulose é um polímero natural constituído por carbono, oxigênio e hidrogênio. Ela está ligada diretamente a resistência à tração da fibra, já que quanto maior a quantidade de celulose na fibra, maior é a resistência à tração e o módulo de elasticidade da fibra (YOUNG et al. 1998). A hemicelulose tem uma estrutura amorfa e é propensa a degradação por ácidos diluídos e alcalinos, além de conferir a fibra uma grande capacidade de absorção de água. A lignina é composta por moléculas amorfas altamente complexas, que conferem a ela uma alta propriedade incrustante, além de conferir proteção contra a ação de microrganismos e ser responsável pelo transporte de nutrientes e água no interior da planta. (SANTOS. 2008).

### 2.2.1 Fibras de sisal

O sisal (*Agave sisalana*) é uma planta da família *agavaceae* nativa da província de Yucatã, no México, que logo se espalhou por várias regiões do mundo como Europa e África. O sisal resiste a altas temperaturas e baixa humidade, tornando-a ideal o cultivo em regiões tropicais. Segundo Martin, Mattoso e Silva (2009) aproximadamente 70% da produção comercial de todas as fibras desse tipo, correspondem ao sisal. No Brasil, o cultivo do sisal se concentra na região Nordeste, sendo os estados da Bahia, Paraíba e Rio Grande do Norte os principais produtores, com 93,5, 3,5 e 3,0%, respectivamente, da produção nacional. A Figura 3 abaixo mostra como são as plantações de sisal no nordeste brasileiro, e também as fibras de sisal já separadas das folhas e em processo de secagem.

**Figura 3** – Plantas de sisal (a). Fibra de Sisal em processo de secagem (b).



Fonte: Adaptado de Cosibra (2020).

Segundo dados da COSIBRA - Sisal do Brasil Ltda., as exportações do sisal brasileiro totalizaram 31,3 mil toneladas no primeiro semestre de 2020. Mesmo essa taxa sendo 4,7% menor que no mesmo período de 2019, o Brasil ainda é o maior exportador da fibra no mundo. As principais aplicações da fibra de sisal são na indústria automobilística e na fabricação de cordas, barbantes, cabos marítimos, tapetes, sacos, vassouras, estofamentos e artesanato, entre outras (MARTIN et al.,2009).

Nos últimos anos, surgiu o interesse pelo uso de fibras de origem natural como reforço de matrizes cimentícias, onde são uma alternativa sustentável e eficiente às fibras sintéticas. Apesar das vantagens existentes, as fibras apresentam baixa aderência em relação à matriz, alta absorção de água e sensibilidade ao meio alcalino, devido à sua composição química. Portanto, tratamentos físicos e químicos são necessários para a melhoria das propriedades das fibras quando utilizada como reforço de matrizes cimentícias (SANTOS, 2016).

### 2.2.2 Tratamento superficial

A fibra de sisal faz parte do grupo das fibras lignocelulósicas, uma vez que de acordo com o estudo realizado por Mwaikambo e Ansel (2002) a fibra de sisal é composta por 73% de celulose, 13% de hemicelulose, 11% de lignina e 2% de pectina. Em ambos os estudos o índice de cristalinidade corresponde a 75%, o que significa que a fibra de sisal apresenta uma formação cristalina bastante grande, o que torna sua superfície altamente lisa, o que pode provocar dificuldade na adesão da fibra de sisal a matriz cimentícia.

Para a obtenção de resultados satisfatórios na aplicação de fibras de sisal no concreto, a realização de tratamentos físicos e químicos em sua superfície torna-se necessário. Os tratamentos aplicados nas fibras naturais têm como objetivo tornar a área de aderência entre a matriz e a fibra maior, permitindo uma maior transferência de tensões, o que consequentemente aumenta o desempenho do concreto reforçado (QUININO, 2015). Estudos mostram que o tratamento químico com hidróxido de sódio (NaOH) induzem a formação de rugosidades na superfície da fibra, além de remover impurezas e a primeira camada de lignina. Segundo Gonzaga (2014) o tratamento alcalino se mostra eficaz na remoção de parte da hemicelulose da fibra, podendo aumentar o nível de cristalinidade e diminuir do índice de absorção de água, resultando no aumento da rugosidade da fibra, o que favorece a aderência com a matriz. De acordo com o estudo de Beltrami, Scienza e Zattera (2014) tratar as fibras de sisal em uma solução de 1,5 a 10% de NaOH apresenta melhorias nas características e na adesão da fibra a matriz.

### *2.2.3 Propriedades mecânicas*

Variados estudos apontam as fibras de sisal como interessantes materiais de reforço do concreto. Segundo Resende (2003) as fibras de sisal são usadas para controlar a retração plástica do concreto e prevenir o aparecimento de maiores fissuras na fase de endurecimento, e agem, aumentando a resistência à tração indireta. Lima, Toledo Filho e Lima (2012) estudaram o comportamento de argamassas reforçadas com fibras curtas de sisal sob ensaio de tração e concluíram que as fibras sobrepondo as fissuras da matriz mantêm a continuidade de distribuição de tensões, contribuindo para a redução da propagação da fissura e para a manutenção de uma tensão residual, mesmo após grandes deslocamentos.

Izquierdo, (2015), cita em seu trabalho que as fibras de sisal apresentam vantagens que interferem no bom desempenho do concreto possibilitando maiores absorção de energia, tenacidade, ductilidade e, ainda, capacidade de absorver carregamentos após a fissuração. Estes compósitos poderão ser utilizados em estruturas para resistir intensas ações de vento, terremotos, impactos de objetos e em paredes de alvenaria não armada. Woelffel, Silva e Filho (2020), demonstraram através de análise que a influência da adição de fibras curtas de sisal, em concreto com função estrutural, evidenciou que a presença das fibras promoveu um considerável aumento nos valores de resistência aos esforços de compressão axial e tração na flexão, aumento este de 18,62% e 30%, respectivamente.

De acordo com Melo Filho (2012), é na região pós-fissuração que se concentra a grande influência das fibras no compósito, onde as mesmas cruzam as fissuras que se propagaram na matriz frágil, transmitindo carga de um ponto a outro na matriz e impedindo a ruptura brusca do material. Nos seus estudos, demonstrou que o concreto produzido com reforço de fibras curtas de sisal, apresentou de uma a três fissuras durante o ensaio, caracterizando uma boa capacidade de transferir esforços.

## **3. MATERIAL E MÉTODOS**

Foi realizado um programa experimental com o objetivo de avaliar os efeitos do tratamento químico nas fibras de sisal, bem como estudar o comportamento do concreto híbrido reforçado com fibras de aço/sisal e polipropileno/sisal quando submetido a esforços solicitantes de tração e compressão.

### 3.1 Materiais

#### 3.1.1 Água, agregados e cimento

A água utilizada foi fornecida pela rede de abastecimento da cidade de Anápolis, distribuída pela SANEAGO. Os agregados utilizados para a produção foram do tipo graúdo (brita 0) proveniente de rochas estáveis e miúdo (areia média) de origem natural, ambos com distribuição e caracterização granulométrica de acordo com a NBR 7211 (ABNT NBR 7211, 2005). Os agregados citados foram disponibilizados pelo Laboratório de Materiais de Construção do Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA.

O cimento utilizado foi o CP II-F-32. Esse cimento foi escolhido por possuir uma grande gama de aplicações. Esse é um dos cimentos mais utilizados no Brasil, ideal para a produção de concreto armado.

#### 3.1.2 Fibras

As fibras de aço utilizadas foram do tipo arame, com um comprimento de 45 mm, as fibras são compridas com ondulações em todo o seu corpo o que potencializa a pega ao concreto. As fibras de polipropileno utilizadas são do tipo microfibras, com um comprimento de 12 mm, essas fibras possuem baixo módulo de elasticidade, grande deformação e são resistentes a álcalis. As fibras de sisal foram adquiridas da empresa Sisal Sul, com sede em São Paulo - SP. As fibras foram fornecidas *in natura*, em feixes longos e com ~ 80 cm de comprimento, que posteriormente foram cortadas para as dimensões apropriadas para aplicação com cada fibra sintética.

**Figura 4** – Fibras de aço (a). Fibras de polipropileno (b). Fibras de sisal cortadas (c).



Fonte: Próprio autor (2021).

### 3.2 Processamento e caracterização das fibras de sisal

#### 3.2.1 Tratamento das fibras

Inicialmente as fibras foram cortadas e penteadas em tiras de 200 mm e mercerizadas em água quente (80-100 °C) por uma hora. Após isso foram colocadas para secar a temperatura ambiente por 48 horas. Em seguida, as fibras foram mercerizadas em uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) com uma concentração de 5% (m/v) com proporção 10:1 (v/m) (solução/fibra), durante 3 horas em temperatura ambiente e com agitação manual a

cada 20 minutos. As fibras foram colocadas em formas de aço para secagem em temperatura ambiente por 24 horas, e secas em estufa por 48 horas.

### 3.2.2 FTIR (*Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier*)

Os espectros de FTIR das fibras de sisal *in natura* e tratadas foram estudados com o objetivo de verificar a eficiência do tratamento alcalino. Foi utilizado um espectrômetro Nicolet iS10 (*Thermo Scientific*) disponível no Laboratório de Análises da Universidade de Brasília – UnB e utilizou-se a técnica de transmissão com resolução de 4 cm<sup>-1</sup> e 64 varreduras entre 4000 a 400 cm<sup>-1</sup>. Pastilhas de KBr foram preparadas com 5% m/m de amostra em relação ao KBr. A aquisição e manipulação de dados foi realizada utilizando o software OMNIC.

### 3.2.3 *Índice de absorção de água*

O ensaio de índice de absorção de água foi utilizado para verificar a eficácia do tratamento alcalino nas fibras de sisal. As fibras foram cortadas com dimensões de 45 mm, tiveram sua massa aferida e foram levadas em água por um período de doze horas. Após este período, tiveram sua massa novamente aferida. O índice de absorção de água foi determinado pela seguinte equação abaixo, onde, *msat* representa a massa saturada e *ms* representa a massa seca.

$$A(\%) = \left( \frac{msat - ms}{ms} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

## 3.3 **Produção dos compósitos cimentícios**

Durante o processo de moldagem foram produzidos 10 traços de concreto, sendo 1 traço do concreto puro, 3 traços do concreto reforçados com as fibras puras e 6 traços com reforço híbrido de 0,5% de fibras sobre o volume total do concreto. Desta forma para diferenciar cada grupo adotou-se uma nomenclatura para cada teor de substituição de fibra sintética, conforme apresentado na tabela 1, onde as abreviações seguem o padrão: A primeira parte refere-se à proporção das fibras (sintética/natural) e a segunda, às porcentagens das fibras. Exemplo: CAS 25/75 – Concreto com adição de 25% de aço e 75% de sisal, dentro da porcentagem total de fibra que será adicionada ao concreto.

O cálculo das quantidades de fibra em massa foi realizado utilizando as densidades de cada fibra, sendo: Fibra de aço – 7.840 kg/m<sup>3</sup> conforme NBR 15530 (ABNT,2019); Fibra de Polipropileno – 910 kg/m<sup>3</sup> conforme o fabricante (MACAFERRI); Sisal – 1.450 kg/m<sup>3</sup> (BADRINATH, SENTHILVELAN, 2014). A partir das densidades e as porcentagens em volume foi possível calcular o peso total de cada fibra para cada metro cúbico de concreto.

**Tabela 2** – Classificação dos traços e quantidade de fibras por m<sup>3</sup>

Traço	Descrição	Aço (kg)	Sisal (kg)	Polipropileno (kg)
CC	Concreto convencional	-	-	-
CP	Concreto / Polipropileno	-	-	4,55
CA	Concreto / Aço	39,2	-	-
CS	Concreto / Sisal	-	7,25	-
CAS 25/75	Concreto / Aço / Sisal	9,8	5,44	-
CAS 50/50	Concreto / Aço / Sisal	19,6	3,63	-
CAS 75/25	Concreto / Aço / Sisal	29,4	1,81	-
CPS 25/75	Concreto / Polipropileno / Sisal	-	5,44	1,14
CPS 50/50	Concreto / Polipropileno / Sisal	-	3,63	2,28
CPS 75/25	Concreto / Polipropileno / Sisal	-	1,81	2,28

Fonte: Próprio Autor (2020)

O concreto foi produzido em betoneira com capacidade de 300 litros disponível no Laboratório de Materiais de Construção da UniEVANGÉLICA. O traço padrão usado para a fabricação dos corpos de prova (cimento/ agregado miúdo/ agregado graúdo/ aditivo/ relação água cimento) foi de (1:1,97:2,02:0,009:0,51) com abatimento de 120±20 mm.

Na produção do concreto foram adicionados os agregados (gráudo e miúdo) o cimento e metade da quantidade de água, e começou-se a homogeneização por volta de 3 minutos. Em seguida, as fibras utilizadas no traço foram adicionadas aos poucos, e posteriormente, foi adicionado o restante da água junto com o aditivo polifuncional.

A moldagem dos corpos de prova foi realizada de acordo com a NBR 5738 (ABN7,2015). Os corpos de prova utilizados nos ensaios de compressão simples e tração por compressão diametral foram moldados com moldes metálicos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Os corpos de prova do ensaio de flexão foram moldados em moldes prismáticos de 15 x 15 x 55 cm. Após a moldagem os corpos de prova foram mantidos em local plano, protegido de sol e chuva. Depois que os corpos de prova apresentaram a rigidez necessária para o desmolde, todos foram desmoldados e enviados para cura controlada em câmara úmida até a respectiva data de rompimento. A figura 6 mostra os moldes dos corpos de prova cilíndricos e prismáticos utilizados nos ensaios, e os corpos de prova desmoldados.

**Figura 6** – Moldes cilíndricos (a). Moldes prismáticos (b). Corpos de prova cilíndricos (c). Corpos de prova prismáticos (d).



Fonte: Próprio Autor (2021)

### 3.4 Ensaios no concreto

#### 3.4.1 Ensaio de abatimento do concreto

Para a avaliação da consistência do concreto efetuou-se o ensaio de abatimento pelo tronco de cone, de acordo com a NBR 16889 (ABNT,2020). Para o ensaio foi utilizado um molde tronco com as dimensões: diâmetro inferior de 20 cm, diâmetro superior de 10 cm e altura de 30 cm (com a base maior voltada para baixo). Onde era adicionada uma camada de 10 cm de altura de concreto que era compactada com vinte e cinco golpes usando uma barra de 16 mm de diâmetro. O processo era repetido para as outras duas camadas posteriores. Em seguida o molde era removido lentamente e a diferença de altura entre o cone de concreto e do molde era medida, e o abatimento anotado.

#### 3.4.2 Ensaios mecânicos

A caracterização do concreto foi realizada com os corpos de prova na idade de 28 dias, através dos ensaios de: resistência à compressão simples, de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018); Resistência à tração por compressão diametral, de acordo com a NBR 7222 (ABNT, 2011) e flexão em corpos de prova prismáticos (realizado apenas nos traços com reforço de fibras puras) conforme NBR 12142 (ABNT, 2010). Os ensaios foram realizados na Máquina Universal de Ensaios Mecânicos CONTECO, no Laboratório de Materiais e Estruturas de Concreto do Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. As dimensões e número de corpos de prova para cada ensaio realizado estão especificados na tabela 3.

**Tabela 3** – Classificação dos ensaios mecânicos e número de corpos de prova de cada traço.

Ensaio	Dimensão dos CP's (cm)	Nº de CP's	Norma
Compressão simples	10 x 20	4	NBR 5739
Tração por compressão diametral	10 x 20	4	NBR 7222
Tração na flexão de corpos de prova prismáticos	15 x 15 x 55	2	NBR 12142

Fonte: Próprio autor (2020)

Após a realização dos ensaios os resultados obtidos foram coletados, tabelados e analisados por média e desvio padrão e os grupos comparados entre si.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

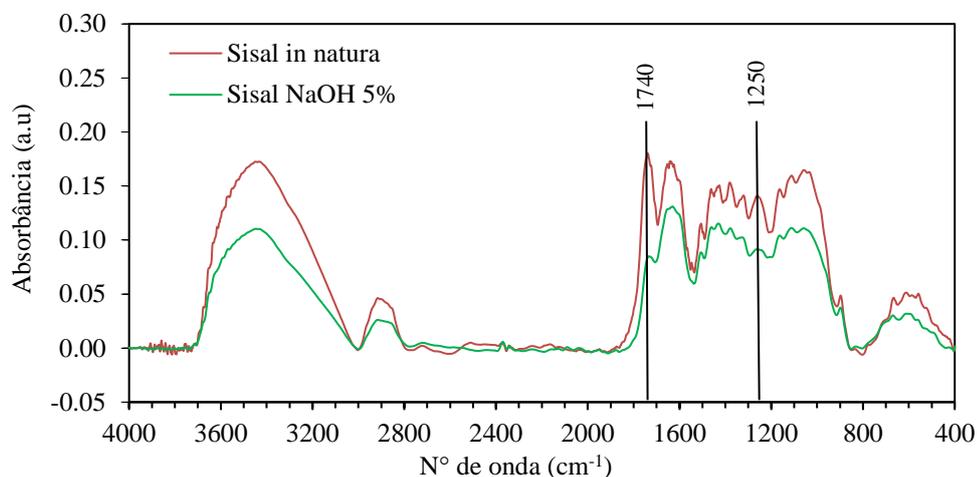
### 4.1 Efeito do tratamento nas fibras de sisal

#### 4.1.1 FTIR (Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier)

O gráfico 1 apresenta os resultados da análise de FTIR das fibras de sisal *in natura* e tratadas com solução de NaOH 5%. O pré-tratamento das fibras realizado através de lavagem em água quente teve por objetivo retirar impurezas superficiais que são prejudiciais na agregação da fibra na matriz e impedem a penetração na interface. O tratamento alcalino com

solução de NaOH por sua vez buscou melhorar a aderência da fibra de sisal ao concreto, através da formação de rugosidades na superfície da fibra o que tende a melhorar a pega com a matriz cimentícia.

**Gráfico 1** – Análise de infravermelho da fibra de sisal *in natura* e após o tratamento com NaOH.



Fonte: Próprio Autor (2021)

Ao observar o gráfico nota-se a mudança na estrutura das fibras após o tratamento alcalino. De acordo com Ferreira (2015), os três componentes mais importantes da fibra de sisal (celulose, hemicelulose e lignina) têm picos na região compreendida entre 800 e 2000  $\text{cm}^{-1}$ . De acordo com o gráfico, percebe-se a redução quase total da banda em 1250  $\text{cm}^{-1}$  que corresponde à ligação C–O que indica a diminuição do componente hemicelulose na fibra, assim como observado por Teodoro et al. (2010). Além disso, a fibra tratada apresentou a ausência quase completa da banda em 1740  $\text{cm}^{-1}$  que é atribuída ao grupo C=O que está presente na lignina, comportamento semelhante ao observado por Fávoro et al. (2010). Resultados similares para essas bandas na análise FTIR de fibras de sisal também foram observados por Patil, Rahman e Netravali (2017).

Os resultados de FTIR indicam que o tratamento alcalino para a remoção de lignina e hemicelulose da superfície da fibra de sisal foi bem sucedida. Segundo Ferreira (2015) o tratamento superficial aumenta a cristalinidade nas fibras após a remoção destes componentes, gerando uma maior rugosidade na sua superfície e resultando em uma maior ancoragem, o que melhora significativamente a interação da fibra com a matriz cimentícia.

#### 4.1.2 Absorção total das fibras de sisal

O ensaio de absorção total foi realizado tendo como amostragem 10 gramas de fibras de sisal *in natura* e 10 gramas de fibras de sisal que foram submetidas ao tratamento alcalino com NaOH 5%, seguindo o estabelecido no item 3.2.1. As fibras naturais e tratadas foram pesadas em estado seco e em estado saturado, e utilizando a equação 1 descrita no item 3.2.3. Os resultados de absorção total das fibras são apresentados na tabela 4.

**Tabela 4** – Resultados do índice de absorção de água na fibra de sisal, antes e depois do tratamento.

Fibra	Massa seca ( $m_s$ )	Massa saturada ( $m_{sat}$ )	Índice de absorção (A%)
Sisal <i>in natura</i>	10	26	160
Sisal NaOH 5%	10	23	130

Fonte: Próprio autor (2021).

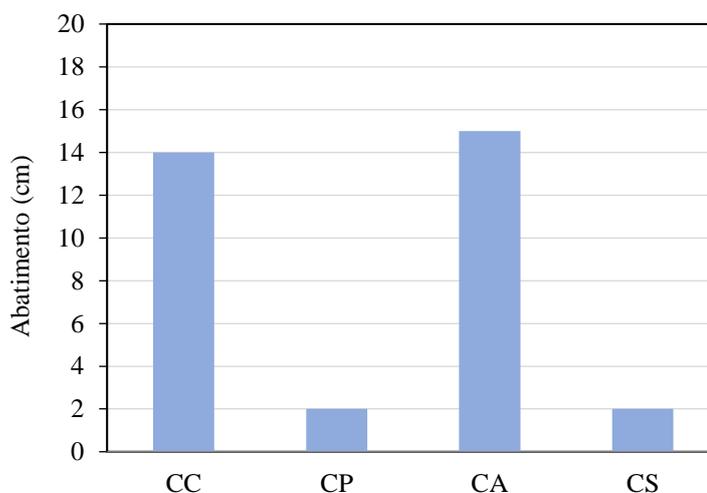
A partir dos resultados obtidos, percebe-se uma diminuição no índice de absorção de água da fibra após o tratamento alcalino. De acordo com Khan (2018), a redução da capacidade hidrofílica da fibra se deve ao fato de que o tratamento remove a hemicelulose, que é o componente mais absorvente da fibra. Ornaghi Júnior *et al* (2014) citam em sua pesquisa que os componentes hidrofílicos atraem água através de ligações de hidrogênio, ligações estas que como demonstrado no ensaio de FTIR foram modificadas devido à diminuição da quantidade de hemicelulose na fibra, como é possível observar na banda em  $1250\text{ cm}^{-1}$ .

Silva (2003) avaliou o efeito do tratamento com NaOH em fibras de sisal e de coco. Em relação à absorção de água pelas fibras, o autor constatou que houve diminuição na absorção de água pelas fibras após o tratamento quando comparado com as fibras não tratadas.

#### 4.2 Análise da trabalhabilidade do concreto

O ensaio de abatimento dos concretos foi executado seguindo as recomendações da NBR 16889 (ABNT, 2020), onde a trabalhabilidade de cada traço foi avaliada através do abatimento medido em centímetros. O gráfico 2 apresenta os resultados de abatimento do traço do concreto convencional e dos traços reforçados com fibras puras (aço, polipropileno e sisal).

**Gráfico 2** – Abatimento do concreto convencional e dos traços com reforço de fibras puras<sup>1</sup>.



Fonte: Próprio autor (2021)

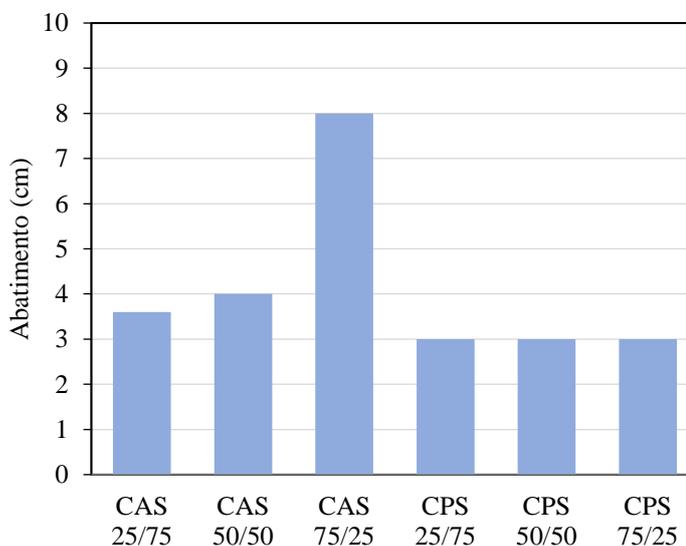
<sup>1</sup> CC – Concreto convencional; CP – Concreto com polipropileno; CA – Concreto com aço; CS – Concreto com sisal.

De acordo com o gráfico, o abatimento do concreto convencional está dentro do esperado, pois o traço selecionado considera um *slump* de  $120 \pm 20$  mm. Já o concreto com adição de fibras de polipropileno teve seu abatimento reduzido. De acordo com Casagrande (2012), essa mudança se deve ao fato de que a quantidade de fibras pode influenciar a quantidade de água e ar incorporado na mistura, o que compromete a trabalhabilidade, pois a área superficial de molhagem aumenta, aumentando a necessidade de água na mistura.

O concreto com adição de fibras de sisal apresentou comportamento semelhante ao com fibras de polipropileno, onde a trabalhabilidade diminuiu consideravelmente. Embora o tratamento com NaOH tenha diminuído a capacidade de absorção de água das fibras, as mesmas continuaram apresentando significativo índice de absorção, o que pode ter contribuído para a queda de trabalhabilidade do traço, uma vez as fibras consumiram parte da água de amassamento. O traço contendo fibras de aço, entretanto apresentou abatimento semelhante ao traço do concreto sem fibras, isso se deve ao fato do aço não absorver água durante a mistura, portanto a água, combinada com o aditivo plastificante utilizado resultou numa maior trabalhabilidade.

O gráfico 3 apresenta os dados de abatimento dos traços de reforço híbrido de aço e sisal e sisal e polipropileno e sisal. Segundo Figueiredo (2011), existem uma série de fatores que podem causar alteração na trabalhabilidade de concreto enriquecido com fibra, incluindo o material que compõe a fibra, teor e geometria.

**Gráfico 3** – Abatimento dos traços com reforço híbrido de aço/sisal e polipropileno/sisal.



Fonte: Próprio autor (2021).

Nos dados apresentados pelo gráfico, nota-se que nos traços híbridos de aço e sisal, quanto maior o teor de fibras de sisal, menor é o abatimento do concreto. Isso se deve a fatores relacionados à absorção de água das fibras de sisal onde, como visto no item anterior, mesmo após o tratamento alcalino com NaOH 5%, a absorção de água pelas fibras continua elevada. Resultados similares foram observados no estudo de Colonetti e Godinho (2017). Outro fator é que devido à baixa densidade da fibra de sisal, ao adicionar a fibra na matriz

cimentícia, a superfície de contato aumenta conseqüentemente reduzindo a fluidez do material.

Em relação aos traços de polipropileno e sisal, o abatimento para todas as amostras foi semelhante, demonstrando a influência idêntica dos dois tipos de fibra na trabalhabilidade do concreto. Segundo Velasco (2002) e Quinino (2015) estas fibras tendem a absorver água e modificar a consistência do concreto. Como observado na análise de Salvador e Figueiredo (2013) a presença da fibra prejudica a mobilidade dos agregados na matriz, o que reduz a fluidez do compósito, diminuindo assim sua trabalhabilidade.

### 4.3 Avaliação das propriedades mecânicas

Após o período de cura os corpos de prova foram submetidos aos ensaios mecânicos de compressão axial, tração por compressão diametral e tração na flexão de corpos de prova prismáticos. A quantidade de corpos de prova ensaiados foi descrita na tabela 3.

Para os ensaios de compressão simples e tração por compressão diametral, foram ensaiados os 10 traços de concreto. Já para o ensaio de tração na flexão em corpos de prova prismáticos, foram ensaiados os principais traços, sendo o concreto convencional e os traços com reforço de fibras puras. Portanto, durante a fase experimental foram moldados 80 corpos de prova cilíndricos e 8 corpos de prova prismáticos no total. Abaixo, na tabela 5 encontram-se a relação de todos os resultados mecânicos obtidos neste trabalho.

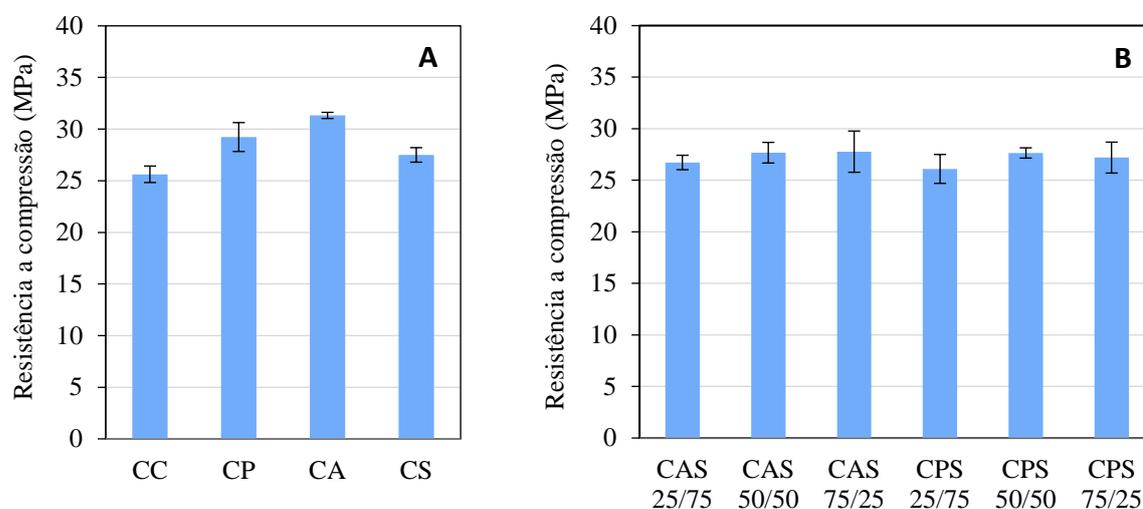
**Tabela 5** – Resultados dos ensaios mecânicos nos traços estudados.

Traço	Compressão simples (MPa)	Tração por compressão diametral (MPa)	Tração na flexão (MPa)
CC	25,63 ± 0,8	3,10 ± 0,0	1,30 ± 0,0
CP	29,23 ± 1,4	3,20 ± 0,1	1,75 ± 0,1
CA	31,33 ± 0,3	3,90 ± 0,4	1,65 ± 0,1
CS	27,50 ± 0,7	3,20 ± 0,3	1,65 ± 0,1
CAS 25/75	26,73 ± 0,7	3,10 ± 0,1	-
CAS 50/50	27,68 ± 1,0	3,50 ± 0,1	-
CAS 75/25	27,78 ± 2,0	3,50 ± 0,1	-
CPS 25/75	26,10 ± 1,4	3,00 ± 0,2	-
CPS 50/50	27,65 ± 0,5	3,30 ± 0,2	-
CPS 75/25	27,20 ± 1,5	3,00 ± 0,2	-

Fonte: Próprio autor (2021).

O gráfico 4 apresenta os resultados do ensaio de compressão axial no concreto convencional e nos traços com reforço de fibras puras e híbridas.

**Gráfico 4** – Resistência à compressão simples do concreto convencional e dos traços com reforço de fibras puras (a). Resistência à compressão simples dos traços com reforço híbrido de aço/sisal e polipropileno/sisal.



Fonte: Próprio autor (2021).

A resistência à compressão é uma das propriedades mais importantes para o concreto pois é através dela que outras propriedades mecânicas como módulo de elasticidade e fluência são delimitadas (ALMEIDA, 2012). Após análise dos resultados do ensaio de compressão axial, notou-se que o traço que obteve a maior influência foi o traço com adição de 100% de fibras de aço, onde houve um aumento de cerca de 22,23% em relação ao traço do concreto convencional. Resultado similar foi observado por Tasca *et al* (2010), onde ao estudar porcentagens diferentes de adições de fibra de aço ao concreto obtiveram um ganho de resistência de 19,6% ao comparar-se ao concreto referência. De acordo com Figueiredo (2011), este comportamento ocorre devido ao fato de as fibras atuarem como ponte de transferência das tensões pelas fissuras, sejam elas produzidas pelos esforços de tração ou cisalhamento como ocorre no ensaio de compressão o que acaba por provocar o aumento de tenacidade à compressão.

O traço com adição de polipropileno também apresentou aumento a resistência à compressão quando comparado com o concreto referência, cerca de 14,05%. Embora as fibras de baixo módulo atuem basicamente na região pós fissuração, em alguns trabalhos como nos de Sun (2009) e Oliveira (2003), os concretos com adição de 1 e 2% de fibras de polipropileno ao concreto obtiveram respectivamente aumentos de 6,8% e 7% na resistência a compressão quando comparado ao traço de referência. O aumento desta resistência pode estar relacionado a uma boa interação da fibra com a matriz, ao processo de produção do concreto bem como da ação do aditivo polifuncional.

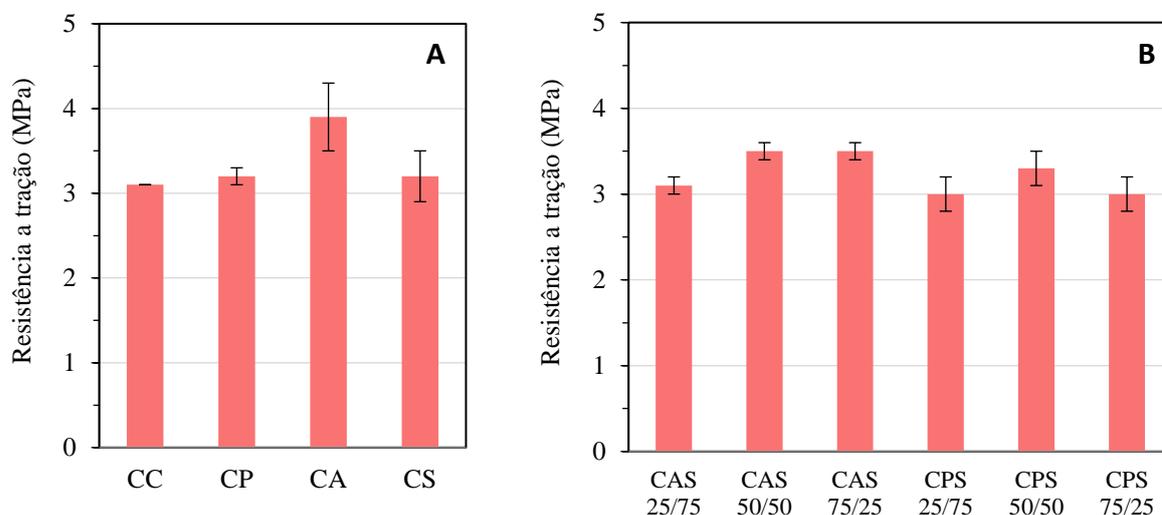
Quanto ao traço com 100% de fibras de sisal, houve discreto ganho de resistência comparado com o concreto referência, cerca de 7,30 %. Izquierdo (2015) indica em sua pesquisa que as fibras de sisal podem conferir ao concreto valores próximos ou até superiores de resistência a compressão quando comparados com o concreto sem adição de fibras, sendo ideais para aplicação em blocos estruturais de concreto.

Ao analisar o comportamento do concreto com reforço híbrido de fibras é possível notar que os traços de aço/sisal apresentaram valores de resistência à compressão semelhantes

aos traços com 0,5% de aço puro e superiores ao traço convencional. Comportamento análogo também foi observado nos traços híbridos de polipropileno e sisal. Nos traços híbridos foi possível observar pouca variação na resistência à compressão, indicando que a substituição das fibras sintéticas pelas fibras de sisal mantém a resistência mecânica do concreto. De modo geral, utilização de fibras de sisal nos traços CAS 50/50 e CPS 50/50 é o mais indicado para aplicação, uma vez que nestes traços pode-se diminuir pela metade o consumo de fibras sintéticas, tornando o concreto mais barato e sustentável sem comprometer a sua resistência à compressão.

O gráfico 5 apresenta os resultados do ensaio de tração por compressão diametral do concreto convencional e do reforçado com fibras puras e híbridas.

**Gráfico 5** – Resistência à tração por compressão diametral do concreto convencional e dos traços com reforço de fibras puras (a). Resistência à tração por compressão diametral dos traços com reforço híbrido de aço/sisal e polipropileno/sisal.



Fonte: Próprio autor (2021).

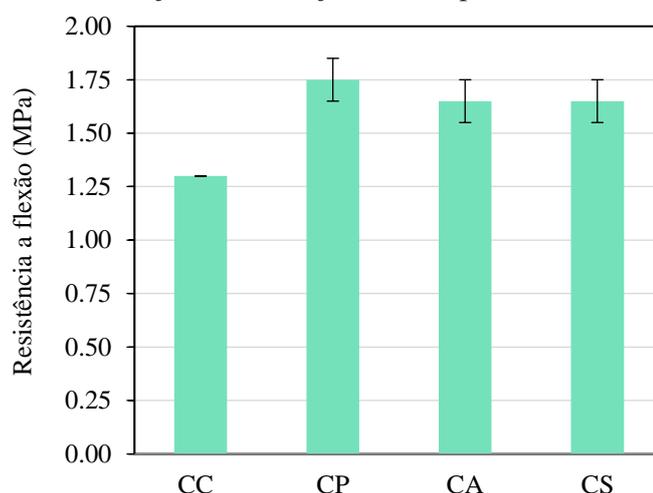
O ensaio de tração por compressão diametral tem por objetivo verificar a resistência a tração do concreto, e assim como no ensaio de resistência a compressão, todos os traços estudados apresentaram resultados positivos quando comparados com o concreto referência. O traço que apresentou maior resistência a tração foi o traço com adição de 100% de fibra de aço onde houve um aumento de 25,8% da resistência a tração. Gonçalves, Lima e Rodrigues (2019) apontam que o ganho de resistência é devido ao alto módulo de elasticidade da fibra de aço quando comparado com a matriz cimentícia o que tende a retardar o aumento das fissuras no concreto endurecido, aumentando assim a sua resistência. O traço com adição de 100% de fibras de polipropileno e o traço com adição de 100% de fibra de sisal, apresentaram aumento na resistência idêntico e igual a 3,23%. De acordo com Resende (2003) a resistência a tração tem relação com o comprimento da fibra e arranjo na matriz, observa-se portanto que as fibras de polipropileno e sisal por serem menores, apresentaram menor ganho de resistência a tração. Este resultado pode ter sido influenciado ainda pela trabalhabilidade do concreto que no caso dos traço contendo polipropileno e do sisal, foi comprometida.

Segundo Lucena (2017) o maior teor de fibras de polipropileno no concreto pode ocasionar um ganho em resistência a tração. Em seu estudo, o concreto reforçado com 2% de fibras de polipropileno obteve ganhos de cerca de 26% em resistência a tração.

Ao comparar os traços híbridos, nota-se que os traços contendo 50% de substituição por fibras de sisal apresentaram valores superiores ao concreto convencional e satisfatórios em relação ao concreto com fibras puras. O traço CPS 50/50 apresentou resistência superior ao traço com polipropileno puro, isso pode estar relacionado a uma boa interação entre estas fibras. Esses traços apresentam ganho de desempenho quando comparados com o concreto convencional e podem diminuir o valor agregado do concreto com a substituição parcial das fibras sintéticas pelas fibras naturais.

O gráfico 6 apresenta os resultados do ensaio de tração na flexão de corpos de prova prismáticos, onde foram ensaiados apenas o traço de referência e os traços reforçados com fibras puras.

**Gráfico 6** – Resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos para o traço de referência e traços com reforço de fibras puras.



Fonte: Próprio autor (2021).

A partir dos resultados obtidos foi possível observar que os traços de concreto reforçados com fibras apresentaram maior resistência à flexão quando comparados com traço de concreto convencional. Os traços com adição de 100% de aço e 100% de sisal proporcionaram um aumento de 26,92% na resistência final. Andrade (2020) também obteve em seu estudo resultados similares na flexão para concretos reforçados fibras de aço. Em relação ao concreto reforçado com fibras de sisal, o aumento na resistência a flexão também foi constatado no estudo de Woelffel, Silva e Coutinho Filho (2020).

De todas as amostras avaliadas, o traço com adição de 100% de polipropileno foi o que obteve a maior resistência a flexão, cerca de 34,6%, resultado este semelhante ao encontrado por Cezar (2019). De modo geral, as fibras utilizadas como reforço conferiram ao concreto melhores características de tenacidade, visto que as fibras agem através da interceptação das fissuras.

## 5. CONCLUSÕES

Neste estudo, a caracterização das fibras de sisal pelos ensaios de FTIR e absorção de água indicou que o tratamento alcalino foi aplicado com sucesso, visto que, diminuíram de maneira eficiente as quantidades de hemicelulose e lignina presentes na fibra, acarretando na redução da capacidade de absorção de água e aumento da rugosidade superficial.

Ao estudar as propriedades do concreto reforçado, observou-se que a adição de fibras de sisal e polipropileno modifica a trabalhabilidade do concreto, onde reduziram consideravelmente o seu abatimento, já as fibras de aço não alteraram esta característica. Além disso, a interação entre as fibras de polipropileno/ sisal não provocou mudanças significativas na trabalhabilidade. Ao contrário, a interação entre fibras de aço/ sisal gerou alterações na trabalhabilidade, uma vez que o aumento da porcentagem de fibras de sisal no traço ocasionou a redução no abatimento do concreto.

Em relação às propriedades mecânicas, todas as fibras aplicadas apresentaram desempenho superior ao concreto convencional, sendo que o concreto reforçado com aço obteve os melhores resultados. Além disso, os resultados de compressão e flexão indicaram que o concreto com reforço de polipropileno e sisal também obtiveram resultados semelhantes ao aço. Ao observar os concretos com reforço híbrido nota-se que os traços com 50% de fibras de sisal na composição apresentaram em todos os ensaios mecânicos, um desempenho muito próximo ao dos concretos com reforço de fibras puras de aço e polipropileno.

Os resultados obtidos indicam que a substituição parcial em 50% de fibras sintéticas por fibras de sisal aumenta as propriedades mecânicas do concreto e pode reduzir seu valor agregado, além disso, a aplicação de materiais de origem biodegradável faz com que o concreto apresente características mais sustentáveis. Visando a complementação dos resultados obtidos, sugere-se para trabalhos futuros a realização de testes que contemplem a influência das fibras na pós fissuração do concreto.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. 09 p.

\_\_\_\_\_**NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018. 09 p.

\_\_\_\_\_**NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndrico. Rio de Janeiro, 2019. 12 p.

\_\_\_\_\_**NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005. 4 p.

\_\_\_\_\_**NBR 15530**: Fibras de aço para concreto - Especificações. 2 ed. Rio de Janeiro: Moderna, 2019. 7 p.

\_\_\_\_\_**NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018. 12 p.

\_\_\_\_\_**NBR 16889**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020. 05 p.

\_\_\_\_\_**NBR NM 18**: Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo Rio de Janeiro, 2012. 4 p.

\_\_\_\_\_**NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009. 06 p.

\_\_\_\_\_**NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 06 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO CIMENTO PORTLAND (ABCP). Guia básico de utilização do cimento Portland: BT-106. 7 ed. São Paulo: ABCP, 2002. 28 p.

ALMEIDA, Sílvia Martins de. **Análise do módulo de elasticidade estático e dinâmico do concreto de cimento Portland através de ensaios de compressão simples e de frequência ressonante**. 2012. 213 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

AUERSVALDT, Bianca; LAY, Antonio; LIEBL, Thales. **Incorporação de Fibras Vegetais de Bambu ao Concreto em Substituição à Fibras Sintéticas** [s.l.: s.n., s.d.]. Disponível em: <[http://aprepro.org.br/conbrepro/2019/anais/arquivos/09272019\\_200955\\_5d8ea14fbf4d9.pdf](http://aprepro.org.br/conbrepro/2019/anais/arquivos/09272019_200955_5d8ea14fbf4d9.pdf)>. Acesso em: 21 nov. 2020.

BADRINATH, R., SENTHILVELAN, T. Comparative investigation on mechanical properties of banana and sisal reinforced polymer based composites. **Procedia Materials Science**, vol. 5, p. 2263-2272, 2014.

BELTRAMI, Lilian Vanessa Rossa; SCIENZA, Lisete Cristine; ZATTERA, Ademir J. Efeito do tratamento alcalino de fibras de curauá sobre as propriedades de compósitos de matriz biodegradável. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 24, n. 3, p. 388–394, 2014. Disponível

em: <[https://www.scielo.br/pdf/po/v24n3/aop\\_polimerosao1467.pdf](https://www.scielo.br/pdf/po/v24n3/aop_polimerosao1467.pdf)>. Acesso em 23 nov. 2020.

CABRAL, S. C.; AZEVEDO, M. A. Materiais alternativos para adição ao cimento Portland. **Revista Científica Vozes dos Vales**, n.10, Minas Gerais, 2016.

CAMPILHO, R. D. S. G. Natural Fiber Composites. New York: Taylor & Francis Group, 2016.

CASAGRANDE, ÉDINA QUISSINI. **Compósitos cimentícios reforçados com fibras de polipropileno e com adição de cinza volante : estudo do desempenho em pavimentos de concreto.** , 2012. 79f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/79767>>. Acesso em: 23 May 2021.

CASTRO, W. A. M; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. **Incorporação de resíduos de caulim em argamassas para uso na construção civil.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

CEZAR, Jessé Felipe Valandro. **Concreto permeável com incorporação de fibra de polipropileno para melhoramento da resistência à flexão.** Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2019.

COLONETTI, Ludmila de Medeiros; GODINHO, Daiane dos Santos da Silva. **ESTUDO DO EFEITO DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE SISAL NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO.** 2017. 19 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2017.

DANTAS, CAMILA LOUZADO D EL REI. **Tratamento hidrotérmico em fibras de sisal e sua influência no comportamento de compósitos cimentícios.** 2019. 74 p. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Estadual De Feira De Santana, Feira de Santana, 2019.

DURAN, A. P.; FRACARO, D. **Verificação das propriedades básicas do concreto industrializado fornecido em embalagens de 30kg.** Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Concreto) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

FÁVARO, S. L. *et al.* E. Radovanovic. **Express Polymer Letters**, Palo Alto, California, v. 4, n. 8, p. 465-473, jun. 2010. Semestral. Disponível em: <http://www.expresspolymlett.com/>. Acesso em: 18 maio 2021

FERREIRA, Carla Regina *et al.* **Estudo Comparativo das Propriedades Mecânicas do Concreto Padrão Estrutural e do Concreto com Adição de Fibras Vegetais.** Esteira. Res., São Carlos, v. 20, supl. 2, pág. 102-107, 2017.

FERREIRA, S.R *et al.* **Effect of hornification on the structure, tensile behavior and fiber matrix bond of sisal, jute and curauá fiber cement based composite systems.** 2016. Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2016.

FERREIRA, S.R *et al.* Effect of fiber treatments on the sisal fiber properties and fiber–matrix bond in cement based systems. **Construction and Building Materials**, Volume 101, Part 1, 2015, Pages 730-740, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.120>.

FERREIRA, S.R *et al.* Influência de ciclos de molhagem-secagem em fibras de sisal sobre a aderência com matrizes de cimento Portland. **Revista Matéria**, v. 17, n.2, pg. 1024-1034, 2012.

FIGUEIREDO, Antonio Domingos de. **Concreto Reforçado com Fibras**. 2011. 240 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, 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**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 04, Vol. 06, pp. 83-131. Abril de 2019. ISSN: 2448-0959

GONZAGA, Felipe Mello. **Estudo da influência do tratamento alcalino/mecânico nas propriedades mecânicas de compósitos de fibras curtas de sisal/epóxi**. TCC (Graduação em Engenharia de Materiais) 2014. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10012065.pdf>>. Acesso 22 de Fev. 2021

GUINLE, Matheus; BETIM, Fernando. EXPERIMENTO COM FIBRA DE SISAL. Rio de Janeiro: Puc Rio, 2014. Disponível em: [https://www.puc-rio.br/ensinopesq/ccpg/pibic/relatorio\\_resumo2014/resumos\\_pdf/ctch/ARTES/DAD\\_Matheus%20Guinle.pdf](https://www.puc-rio.br/ensinopesq/ccpg/pibic/relatorio_resumo2014/resumos_pdf/ctch/ARTES/DAD_Matheus%20Guinle.pdf). Acesso em: 19 maio 2021.

ISAIA, G.C. **Concreto: Ciência e tecnologia**, v. 1. São Paulo: IBRACON, 2011.

ISAIA, G. C. ANDRADE, Tibério; ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. Rio de Janeiro: Ibracon, 2007.

IZQUIERDO, Indara Soto. **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural**. 2011. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

KHAN, T.; THARIQ, M.; *et al.* The challenges of natural fiber in manufacturing , material selection , and technology application : A review. **Journal of Reinforced Plastics and 87 Composites**, p. 1–10, 2018.

KIM, J. T., NETRAVALI, A. N., **Mercerization of sisal fibers: effect of tension on mechanical properties of sisal fiber and fiber reinforced composites**, Composites: Part A, v. 41, pp. 1245-1252, 2010.

LIMA, Paulo, TOLEDO FILHO, Romildo, FEITOSA LIMA, José Mário. Mecanismo de fissuração sob tração direta de compósitos cimentícios reforçados com fibras curtas de sisal. **ENGEVISTA**. 15. 95-103. 10.22409/engevista.v15i1.363, 2013.

LIMA JUNIOR, Humberto Correia. **Avaliação da ductilidade de pilares de concreto armado, submetido a flexo-compressão reta com e sem adição de fibras metálicas**. 2003. Tese (doutorado em estruturas) ) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

LUCENA, Júlio César Tavares de. **Concreto reforçado com fibras de polipropileno: estudo de caso para aplicação em painel alveolar de parede fina**. 2017. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. doi:10.11606/D.18.2017.tde-30032017-104705.

MACCAFERRI DO BRASIL, Jundiaí-SP, 2021

MARTIN, Adriana R.; MARTINS, Maria A.; MATTOSO, Luiz H. C.; SILVA, Odilon R. R. F.. Caracterização química e estrutural de fibra de sisal da variedade Agave sisalana. **Polímeros**, v. 19, n. 1, p. 40-46, 2009.

MARTINS, Rafael Levy, BASTIAN, Fernando Luiz, THIRÉ, Rossana M. S. M. **Tratamento Alcalino de Fibras de Sisal Para Utilização Como Fase de Reforço Em Compósitos de Matriz Polimérica**. Painel PEMM 2012 - 24, 25 e 26 de outubro de 2012 – PEMM/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Medina, J. C. - "O sisal", Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, São Paulo (1954).

MEHTA, P. K., MONTEIRO P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Editora Pini, 2008. 616 p.

MEHTA, P. K., MONTEIRO P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2014.

Melo Filho, João de Almeida. **Durabilidade Química e Térmica e Comportamento Mecânico de Compósitos de Alto Desempenho Reforçados com Fibras de Sisal**. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012. Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2012.

MWAIKAMBO, Leonard Y., ANSELL, Martin P. Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibers by alkalization – **Journal of Applied Polymer Science**. Vol.84, p.22. 2002.

NAVES, IVO. **Sisal Brasil – Informativo julho 2020**. COSIBRA. Disponível em: <[https://www.cosibra.com.br/blog\\_ver.php?id=7#:~:text=Foram%20exportadas%20126%2C3%20toneladas,igual%20per%C3%ADodo%20do%20ano%20atrasado](https://www.cosibra.com.br/blog_ver.php?id=7#:~:text=Foram%20exportadas%20126%2C3%20toneladas,igual%20per%C3%ADodo%20do%20ano%20atrasado)>. Acesso em: 24 Nov. 2020

OLIVEIRA, Carlos, GOUVEIA, Leonard., TEIXEIRA, Ricardo. Concrete with addition of vegetable fibers for structural purposes. **Construindo, Belo Horizonte**, v. 6, n. 2. 2015.

OLIVEIRA, MIGUEL BATISTA DE. **Compósito cimentício de alta ductibilidade reforçado com fibras**. 2016. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2016.

OLIVEIRA, Talita Yasmin Mesquita. **Estudo Sobre o Uso De Materiais de Construção Alternativos que Otimizam a Sustentabilidade em Edificações TCC** (Graduação em Engenharia Civil) – UFRJ. Rio de Janeiro, 2015.

ORNAGHI JÚNIOR, HL, Zattera, AJ & Amico, SC. **Comportamento térmico de fibras vegetais e propriedades dinâmico-mecânicas de compósitos poliméricos com fibra de sisal**. Tese (Doutorado em engenharia de Minas, metalurgia e de materiais) Porto Alegre 2014.

PATIL, Namrata V.; RAHMAN, Muhammad M.; NETRAVALI, Anil N.. “Green” composites using bioresins from agro-wastes and modified sisal fibers. **Polymer Composites**, [S.L.], v. 40, n. 1, p. 99-108, 5 out. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/pc.24607>.

PAULA, Carla Maria Sanches Scanavez de. **Estudo da Influência do tratamento químico de fibras de sisal na resistência mecânica de compósitos sisal/epóxi**. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAS -CBECIMAT, 1996, Águas de Lindóia, 1996. v. 12.

QUININO, Uziel Cavalcanti de Medeiros. **Investigação experimental das propriedades mecânicas de compósitos de concreto com adições híbridas de fibras**. 2015. 243f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre, 2015.

RESENDE, Fabrício Meneses. **Influência das fibras de aço, polipropileno e sisal no amortecimento de concretos de resistência normal e de alto desempenho**. 2003. 98 p. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2003

REVISTA, Globo Rural. Disponível em <<http://www.globo.com>>. Acesso em: 24/11/2020

RIBEIRO, Francisco Roger Carneiro; RIBEIRO, Joana Maria de Souza. **Estudo de matrizes cimentícias reforçadas com fibras naturais e fibras sintéticas**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, Belém - PA, 2017.

ROQUE, Alex Borges. **Elemento construtivo de fibrocimento contendo resíduo de concreto e fibra de sisal para uso como enchimento em lajes premoldadas**. 2015. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual De Feira De Santana, Feira de Santana, 2015.

SALVADOR, Renan Pícolo; FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. Análise comparativa de comportamento mecânico de concreto reforçado com macrofibra polimérica e com fibra de aço. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 1273-1285, jun. 2013. SANTOS, Renata Daniel. **Estudo da influência de tratamentos na promoção da durabilidade e aderência de fibras de curauá e sisal em matrizes à base de cimento Portland**. Trabalho de Conclusão de Curso ( Bacharelado em Engenharia Civil)– UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.

SAPUAN, S.M.; et al. **Mechanical properties of woven banana fiber reinforced epoxy composites**. *Mat. Des.*, v. 27, pag. 689-693, 2006.

SASMAL, S.; AVINASH, G., Investigations on mechanical performance of cementitious composites micro-engineered with poly vinyl alcohol fibers, **Construction and Building Materials**, v. 128, p. 136-147, oct. 2016.

SILVA NETO, João Trajano da. **Compósito cimentício reforçado com fibras poliméricas de alta resistência mecânica**. 2018. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

SILVA, Rosana Valarim da. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. 2003. 139 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-29082003-105440/publico/teseRosanaVilarimdaSilva.pdf> Acesso em: 18 maio 2021.

SUN, Zengzhi; XU, Qinwu. Microscopic, physical and mechanical analysis of polypropylene fiber reinforced concrete. **Materials Science And Engineering A**, Xangai, v. 527, p. 198-204, jun. 2009.

TANESI, J.; FIGUEIREDO, A. D. Fissuração por retração em concretos reforçados com fibras de polipropileno (CRFP). **Boletim Técnico**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

TASCA, Maisson *et al.* Estudo da viabilidade de adição de fibras de aço no concreto exposto ao ambiente marítimo: Análise da melhoria das propriedades de resistência. In: SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA, 4., 2010, Rio Grande. Rio Grande: Furg, 2010. p. 1-13.

TEODORO, Kelcilene B. R. *et al.* Whiskers de Fibra de Sisal Obtidos sob Diferentes Condições de Hidrólise Ácida: Efeito do Tempo e da Temperatura de Extração. **Polímeros**, São Carlos, v. 21, p. 280-285, dez. 2010.

VELASCO, REILA VARGAS **Concreto de Alto Desempenho Reforçado com Fibras de Polipropileno e Sisal Submetido a Altas Temperaturas**. 2002. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002.

WOELFFEL, Anderson Buss; NOGUEIRA DA SILVA, Marcos; FILHO, Paulo Adnet Coutinho. **Impactos no desempenho mecânico de concreto estrutural reforçado com fibras de sisal**. Revista Científica FAESA, [S.l.], v. 16, n. 2, p. 28 - 45, nov. 2020. ISSN 2316-7327