

## **ESTUDO DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE PAPEL KRAFT NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO**

FALETTI, Vanessa de Lima Trevisan<sup>1</sup>

BACKES, Guilherme Fiedler<sup>2</sup>

PERES, Maria Vânia nogueira do Nascimento<sup>3</sup>

**RESUMO:** A construção civil é considerada uma das maiores causadoras de impacto ambiental, tanto pelo alto consumo de recursos naturais, quanto pela geração de resíduos sólidos, o que, em sua grande parte, são descartados de forma inadequada, sendo que, em muitos dos casos, esses resíduos possuem bom potencial de serem reciclados. Neste contexto, estão inseridas as embalagens de cimento que é um material essencial em obras, gerando grande quantidade desse resíduo. Desta forma, o trabalho teve como objetivo estudar o comportamento físico e mecânico do concreto com o uso de fibras do papel kraft reciclado de embalagens de cimento. Para a realização da pesquisa, foram produzidos quatro tipos de concreto, sendo um de referência, e os outros três com adição das fibras do papel kraft nas proporções de 0,5%, 2,5% e 5%. A partir dos resultados obtidos, foi possível verificar no estado fresco que apenas o concreto com adição de 0,5% de fibras alcançou resultados que não influenciaram em sua trabalhabilidade. Nos resultados obtidos pelo ensaio de resistência à compressão axial, apenas o traço no teor de 0,5% obteve resistência acima do mínimo solicitado por norma, mesmo tendo redução na resistência de cerca de 20% quando comparado ao concreto de referência. Para os resultados no ensaio de tração por compressão diametral, todos os traços tiveram resistência mínima esperada e, para os resultados no ensaio de massa específica, todos os traços tiveram menor massa específica que o traço de referência.

**Palavras-chave:** Construção civil, resíduos sólidos, fibras de papel kraft, trabalhabilidade, resistência.

### **1. INTRODUÇÃO**

O Brasil é um dos países com mais geração de resíduos sólidos urbanos e, grande parte de sua destinação final ocorre de forma inadequada, tendo seus descartes a céu aberto (IPEA, 2021). De acordo com os dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE – SP, 2022), no ano de 2022 foram produzidos cerca de 81,8

---

<sup>1</sup>Vanessa de Lima Trevisan Faletti, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: vltrevisan@minha.fag.edu.br

<sup>2</sup>Guilherme Fiedler Backes, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: gui\_fiedler@hotmail.com

<sup>3</sup>Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres, Mestre, Engenheira Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR



milhões de toneladas de resíduos sólidos e 61% não obtiveram destinação correta desse material. Na construção civil, a produção de resíduos causa grandes impactos, pois estão presentes em todo tipo de obra, sendo responsabilizada por 50% dos resíduos produzidos no país. Parte desses resíduos podem ocasionar altos impactos ambientais quando descartados de forma incorreta, tendo a opção de reutilizá-los, visando a sustentabilidade (CREA, 2017).

O concreto na construção civil é o material mais utilizado em obras, e o cimento é um de seus principais componentes. Segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2022), apenas em 2022 foram vendidos 63,1 milhões de toneladas de cimento, considerando que 70% seja produzido e vendido ensacado, a quantidade de resíduo gerado que pode ser descartado de forma irregular é de grande relevância.

As embalagens de cimento são feitas de papel kraft de múltiplas folhas, criada por meio da mistura de celulose, tornando-se um material de alta resistência, que busca conservar e manter as características do produto. Tendo em vista que a embalagem está em contato com o material ensacado, exigem-se procedimentos e cuidados adicionais no processo de reciclagem, pois o descarte inadequado dessas embalagens pode ocasionar uma série de problemas ambientais e na qualidade de vida da sociedade (ABCP, 2017).

Com essas informações, a justificativa para realização dessa pesquisa se deve à importância da reutilização e reciclagem desse material que colabora para a poluição do meio ambiente e prejudica a qualidade de vida da sociedade. A diminuição desses resíduos na natureza ocasiona redução da contaminação do solo, água e ar, além de possibilitarem a diminuição de custos e materiais na obra, por meio da produção de um concreto mais sustentável e ecológico.

Nesse sentido, realizar este trabalho acadêmico se justifica dentro de uma relevância social para a diminuição do descarte incorreto de materiais da construção civil, obtendo separação e organização adequadas dentro do canteiro de obra.

Para uma relevância científica, considerando a falta de estudos relacionados a esse tema, buscou-se obter melhorias no concreto de forma sustentável com a utilização de materiais reciclados que são utilizados em grandes quantidades nas obras convencionais.

Para tanto, a pergunta a ser respondida com o desenvolvimento dessa pesquisa será: qual é a intervenção da fibra do papel kraft nas propriedades físicas e mecânicas do concreto?



Esta investigação buscou estudar a adição de fibras do papel kraft nas proporções de 0,5%, 2,5% e 5%, visando mostrar as alterações e melhorias proporcionadas ao concreto, trazendo destinação ambientalmente adequada para esse material.

Salienta-se para que este trabalho possa ter pleno êxito, os seguintes objetivos específicos serão propostos:

- a) Verificar a resistência à compressão axial;
- b) Verificar a resistência à tração por compressão diametral;
- c) Analisar a influência da adição de fibra na absorção de água por imersão;
- d) Determinar a massa específica para os concretos com diferentes porcentagens de fibra.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Concreto e Fibras**

Segundo Felisser (2002), os concretos são materiais rígidos, e se caracterizam como frágeis por apresentar baixa resistência à tração e pequena capacidade elástica. Essas características garantem ao concreto grande capacidade de fissuração, seja por retração ou carregamento. Com rachaduras formadas, o concreto perde sua capacidade de carga e, por consequência, suas propriedades.

Meneses (2011) afirma que uma das formas encontradas como um reforço e para minimizar a deficiência no concreto é através da adição de fibras. As fibras podem atuar nas microfissuras durante o endurecimento da pasta de cimento, controlando o surgimento das microfissuras, e atuar na pasta endurecida, funcionando como obstáculo ao desenvolvimento da abertura e do comprimento das fissuras. São elementos cujo seu comprimento é maior que a seção transversal e podem ser de diversos materiais, desde fibras naturais até fibras de aço, vidro, polímeros, possuindo o objetivo de diminuir a retração e aumentar a tenacidade, ductilidade e resistência do material a que forem incorporadas.



## 2.2 Fibra de papel kraft

De acordo com Klock *et. al*, (2013), as fibras de papel kraft são materiais orgânicos originados de um processo de industrialização por meio de madeiras do tipo coníferas ou madeiras que possuem massa corpórea macia. A fibra natural possui, como característica, uma grande resistência, além do fato de ser possível encontrar em grande abundância na natureza. Possuem também como vantagem serem uma matéria-prima renovável, tendo a possibilidade de usar como reforço para os polímeros, apresentando diminuição da contaminação do meio ambiente e melhor proveito dos recursos naturais.

Neto (2018) afirma que o papel kraft é conhecido como um papel grosso, multifoliados, e conta com uma qualidade excepcional em relação a resistência mecânica. É utilizado como embalagens industriais por ser resistente ao rasgo e obter boa resistência ao estouro. Outra vantagem dessa embalagem é a capacidade de resistência quanto a temperatura elevada, podendo ser ensacado o material ainda quente.

Segundo a Resolução 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, o papel da embalagem de cimento se enquadra no resíduo Classe B e devem ser reutilizados, reciclados ou encaminhados as áreas de armazenamento temporário para utilização ou reciclagem futura. De acordo com Buson (2009), apesar das embalagens de cimento serem um material reciclável e não demorarem muito para se decompor, o problema está no material que resta no saco de cimento, pois a sobra desse material demora milhares de anos para se decompor e pode levar a uma possível contaminação do lençol freático.

Diante disso, Alves (2016) descreve a necessidade do reaproveitamento desse resíduo de grande volume e por obter características positivas, podendo dar incrementos de resistência e deformação plástica, o mesmo poderia ser reaproveitado dentro da própria obra.

## 2.3 Parâmetros que influenciam nas propriedades do concreto com fibras

Alves (2016) realizou um estudo sobre a influência da fibra do papel kraft em blocos de concreto não estrutural. Foi possível observar que a adição de fibras celulósicas de reaproveitamento de papel kraft teve um impacto na absorção de água dos blocos de concreto avaliados, bem como na resistência à compressão. Verificou-se que quanto maior o volume de



fibra adicionado, maior foi a absorção de água dos blocos. No entanto, os blocos com adição de fibra kraft no teor de 0,5%, assim como os blocos de referência, atenderam aos requisitos normativos para os valores de absorção, o que demonstra a viabilidade da utilização das fibras nesta propriedade.

De acordo com Silva (2006), a principal motivação para a melhoria das argamassas é a prevenção da fissuração. É amplamente conhecido que a argamassa possui microfissuras mesmo antes de sua solidificação. Devido a tensões tanto internas quanto externas, essas microfissuras têm a tendência de se espalhar dentro da argamassa e se juntarem para formar as microfissuras. Essa propagação é ainda mais intensa quanto mais permeável for a argamassa, ou seja, a difusão das fissuras ocorre com mais facilidade quanto maior for o número de espaços vazios na argamassa, pois eles representam caminhos livres para as tensões e são, portanto, facilmente percorridos. Assim, a presença de fibras na argamassa serve como barreira para a propagação das fissuras já existentes.

## 2.4 Efeitos da incorporação das fibras no concreto

### 2.4.1 Trabalhabilidade

Segundo Dias (2017), que avaliou a interferência da adição de fibras de papel kraft em argamassas, observou que a argamassa com fibras apresentou menor trabalhabilidade. Isso ocorre devido a maior dificuldade de dispersão das fibras na mistura, a maior coesão conferida à mistura e à absorção de parte da água do traço pelas fibras. Ela conclui que a trabalhabilidade da argamassa com fibras de papel kraft deve ser ajustada para ser utilizada em obra.

Pesquisas realizadas por Figueiredo *et. al*, (2011), indicam que a inserção de fibras na composição do concreto pode reduzir a trabalhabilidade, sendo que esse decréscimo é, em geral, proporcional à quantidade de fibras incorporadas. Por conseguinte, recomenda-se adicionar uma pequena porcentagem de fibras para não prejudicar a manipulação do material.



#### 2.4.2 Resistência à compressão

Buson (2009) explorou o uso de fibras celulósicas provenientes da reciclagem do papel kraft como aditivo na terra para produzir um compósito, o Krafterra, que poderia ser utilizado na fabricação de elementos de vedação vertical. A pesquisa revelou que a incorporação das fibras do papel kraft melhorou a resistência à compressão simples do solo, superando os valores das propriedades do solo-cimento. Com a adição do compósito, foram criados blocos com maior resistência à compressão simples do que apenas com o solo-cimento. Os experimentos com os melhores resultados foram aqueles com blocos contendo 6% de fibras de celulose dispersas e 6% de cimento no solo. O estudo de Buson (2009) também incluiu a produção de uma argamassa de assentamento com o Krafterra. A argamassa, combinada com os blocos de Krafterra, resultou em forte aderência entre eles, produzindo elementos construtivos homogêneos com desempenho uniforme, conforme demonstrado nos testes de compressão simples.

Santos e Carvalho (2011) examinaram a inclusão de fibras celulósicas provenientes da reutilização de papéis kraft utilizados em embalagens de cimento como aditivo em argamassas de revestimento. A argamassa apresentou uma resistência inicial que foi capaz de suportar o peso do conjunto bloco-argamassa. Além disso, foi observado um resultado satisfatório em termos de resistência oferecida pelo conjunto na separação dos blocos unidos pela argamassa, que foi comprovada por meio de experimentação manual e demonstrou uma grande resistência à separação.

#### 2.4.3 Resistência à flexão

Carvalho *et. al*, (2013) conduziram um estudo sobre a resistência em relação à deterioração de argamassas com fibras de kraft. Para avaliar a durabilidade, foram fabricados corpos de prova em forma de prismas, que foram submetidos a ciclos consecutivos de umedecimento e secagem. Em seguida, foram realizados testes de resistência à flexão e compressão. Durante o período de estudo, as argamassas com fibras não apresentaram perda de durabilidade, e o ensaio de resistência à flexão mostrou que as fibras foram benéficas, impedindo perdas significativas de desempenho em comparação com a argamassa de referência, sem fibras.



Dias (2017) observou que as argamassas adicionadas de fibras em teor de 1,0% apresentaram valores de resistência à tração na flexão próximos aos resultados do traço de referência para a idade de 7 dias, enquanto que, para 28 dias, ocorreu uma diminuição significativa. Já para a argamassa com 0,5% de fibras, houve uma ligeira melhora nos valores de resistência em relação ao traço de referência, tanto aos 7 dias quanto aos 28 dias de idade. Essa melhora se deve à considerável resistência à tração das fibras, que não comprometeu a porosidade da argamassa devido ao baixo teor de adição. No entanto, a argamassa com 1,5% de fibras apresentou resultados de resistência inferiores, devido à maior porosidade causada pelo teor elevado de fibras adicionadas em relação aos demais traços.

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 Tipo de estudo e local da pesquisa**

A metodologia empregada nesta pesquisa refere-se ao tipo experimental, sendo baseada nas recomendações das Normas Brasileiras.

O experimento foi realizado no laboratório de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz e constituiu na caracterização dos materiais, dosagem, moldagem e cura do concreto, onde se realizaram os ensaios nas amostras para os concretos no estado fresco e endurecido.

#### **3.2 Caracterização da amostra**

##### **3.2.1 Instrumentos e procedimentos para a coleta de dados**

Para realização do experimento foram moldados 12 corpos de prova cilíndricos para cada traço, com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm, totalizando 48 corpos de prova, que seguiram as normas da NBR 5738 (ABNT, 2015) e foram submetidas ao adensamento mecânico.

O traço base utilizado foi o traço em massa, representado na forma 1:2:3, ou seja, uma parte de cimento, duas de areia média e três de brita 1, com relação água/cimento de 0,60.



### 3.2.2 Aglomerante

Para esse estudo, foi utilizado, como aglomerante, o cimento do tipo CP II – Z – 32 que é o mais utilizado na região. O cimento é um material que, em contato com a água, sofre um processo de cristalização e ganho de resistência. O cimento Portland tipo II é composto com material pozzolânico e classe de resistência igual a 32. Segundo a NBR 16697 (ABNT, 2018), esse material possui 71 a 94% de clínquer e sulfatos de cálcio, 6 a 14 % material pozzolânico e 0 a 15 % de material carbonático.

### 3.2.3 Agregados

O agregado graúdo utilizado para o ensaio foi classificado de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2022), que se refere como agregado graúdo os grãos que passam na peneira com abertura de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de 4,75 mm.

O agregado miúdo utilizado para o ensaio foi classificado de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2022), que se refere como agregado miúdo os grãos que passam na peneira com abertura de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de 150 µm.

### 3.2.4 Fibra de papel kraft

As fibras utilizadas para o experimento foram obtidas através do processo de reciclagem de sacos de cimentos oriundos de algumas obras que ocorrem na cidade de Anahy/PR.

Para o processo de reaproveitamento das fibras de papel kraft foi utilizado, como exemplo, o método de Alves (2016), que se inicia com a limpeza dos sacos de cimentos coletados, retirando todos os resíduos que restam dentro da embalagem. Após a limpeza, os sacos foram picados em pedaços menores, para melhor manuseio e aproveitamento, em seguida, dispersos em água e agitados (Figura 1).

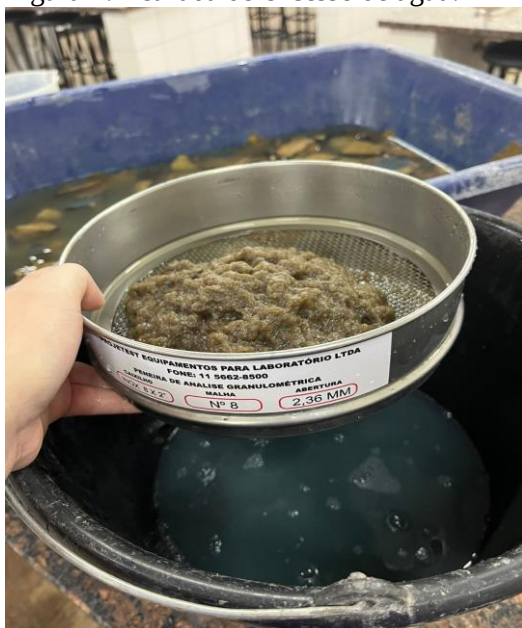
Figura 1: Preparação para obtenção da fibra.



Fonte: Autores (2023).

Para a conversão dos sacos de cimento em polpa de celulose, após o processo de imersão, foi retirado todo o excedente de água com a utilização de uma peneira, pressionando o material com as mãos para a saída de água. Após a retirada de todo o excesso de água, com a poupa quase seca, foi triturada em liquidificador (Figura 2).

Figura 2: Retirada do excesso de água.



Fonte: Autores (2023).

Decorrido o processo de dispersão da fibra, estas foram colocadas em uma lona para a secagem completa das fibras (Figura 3) e, após a secagem, foram armazenadas para a sua utilização no estudo do teor de fibras.

Figura 3: Processo de secagem das fibras.



Fonte: Autores (2023).

### 3.2.5 Dosagem do concreto

O traço utilizado para esse estudo foi o traço em massa, representado na forma 1:2:3, ou seja, uma parte de cimento, duas de areia média e três de brita 1, com relação água/cimento de 0,60, com resistência sendo estimada de  $f_{ck} = 25$  MPa aos 28 dias. A Tabela 1 apresenta o proporcionamento de material para a produção das amostras.

**Tabela 1:** Traço utilizado para fabricação do concreto de referência.

| TRAÇO UN.<br>EM MASSA<br>(Kg) | CIMENTO (Kg) | AREIA (Kg) | BRITA (Kg) | ÁGUA (Kg) |
|-------------------------------|--------------|------------|------------|-----------|
| 1:2:3                         | 7,84         | 15,68      | 23,52      | 4,70      |

Fonte: Autores (2023).

Para a produção dos corpos de prova, foram utilizados quatro traços, sendo o primeiro de referência e sem adição das fibras de papel kraft, utilizado para comparação com os que

tiveram adição das fibras. Os demais traços com teor de 0,5%, 2,5% e 5%, sendo acrescentadas, ao concreto, as fibras de papel kraft (Tabela 2).

**Tabela 2:** Traços utilizados para moldagem dos corpos de prova.

| TRAÇOS (%) | CIMENTO (Kg) | AREIA (Kg) | BRITA (Kg) | ÁGUA (Kg) | PAPEL KRAFT (Kg) |
|------------|--------------|------------|------------|-----------|------------------|
| 0,5        | 7,84         | 15,68      | 23,52      | 4,70      | 0,13             |
| 2,5        | 7,84         | 15,68      | 23,52      | 4,70      | 0,66             |
| 5          | 7,84         | 15,68      | 23,52      | 4,70      | 1,32             |

Fonte: Autores (2023).

### 3.2.6 Moldagem e cura do concreto

Para a realização dos ensaios, foram moldados 12 corpos de prova para cada traço, totalizando 48 corpos, que seguiram as normas da NBR 5738 (ABNT, 2015), referentes à moldagem e cura de corpos de prova (Figura 4). As amostras foram realizadas com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm, e foram submetidas ao adensamento mecânico. Seu processo de cura inicial aconteceu durante as primeiras 24 horas. Após cumprido o processo de cura inicial, foram desmoldados, identificados e armazenados na câmara úmida até o momento dos ensaios que aconteceu após 28 dias da sua moldagem.

Figura 4: Corpos de prova moldados.



Fonte: Autores (2023).

### 3.3 Ensaaios

#### 3.3.1 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone - *slump test*

Para o concreto no estado fresco, foi realizado o ensaio *Slump test* para determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, seguindo as orientações da NBR 16889 (ABNT, 2020). Os materiais necessários para a realização do ensaio foram: molde em forma de tronco de cone oco e haste de compactação e placa de base. O procedimento constituiu em umedecer o molde e a placa de base, colocar o molde sobre a base, durante preenchimento do molde firmou-se com os pés sobre suas aletas para não haver movimento. Encheu rapidamente os moldes dividindo-se em 3 (três) camadas, de quantidades iguais e em cada camada compactou com a haste de socamento distribuindo 25 golpes. Após o preenchimento das 3 camadas, o molde foi retirado verticalmente, entre 5 a 10 segundos. Com a retirada do molde, foi medido o abatimento, que é a distância entre a altura do molde e a altura da massa do concreto (Figura 5). A operação completa não durou mais que 5 minutos.

Figura 5: Ensaio de *slump test* no teor de 0,5%.



Fonte: Autores (2023).

### 3.3.2 Resistência à compressão axial

O ensaio foi realizado considerando a norma NBR 5739 (ABNT, 2018). Para a realização do ensaio, foram utilizados 3 corpos de prova para cada traço, totalizando 12 corpos de prova, que foram rompidos após o período de cura de 28 dias. A prensa utilizada foi a disponível no laboratório do Centro Universitário Assis Gurgacz - FAG. Os corpos de provas foram posicionados verticalmente sobre o prato inferior da prensa, de maneira que seu eixo coincidiu com o eixo da máquina, para serem submetidos aos esforços de compressão (Figura 6). O acionamento da máquina por meio de fonte estável de energia, de modo a propiciar uma aplicação de força contínua e isenta de choques. A velocidade de carregamento foi entre  $0,45 \pm 0,15$  MPa/s, e só cessou após a ocorrência da queda de força, o que indicou a ruptura do corpo de prova.

Figura 6: Ensaio de resistência à compressão axial.



Fonte: Autores (2023).

### 3.3.3 Resistência à tração por compressão diametral

Para realização do ensaio, foi utilizada a norma NBR 7222 (ABNT, 2011). Foram rompidos, após 28 dias de cura, 3 corpos de prova de cada traço, totalizando 12 corpos de prova. O ensaio consistiu em colocar o corpo de prova de modo que fique em repouso ao longo de uma geratriz, sobre o prato da máquina de compressão e colocar entre os pratos e o corpo de

prova em ensaio, duas tiras de chapa dura de fibra de madeira ou aglomerado, de comprimento igual ou maior ao da geratriz do corpo de prova e sessão transversal com as dimensões definidas (Figura 7). A carga foi aplicada continuamente e sem choques, com crescimento constante da tensão de tração, a uma velocidade de  $(0,05 \pm 0,02)$  MPa/s até a ruptura do corpo de prova.

Figura 7: Ensaio de resistência tração por compressão diametral



Fonte: Autores (2023).

#### 3.3.4 Ensaio de absorção de água por imersão

Para realização desse ensaio, foi utilizada a norma NBR 9778 (ABNT, 2009). Foram utilizados 3 corpos de prova para cada traço, totalizando 12 corpos de prova, que foram rompidos após o período de cura de 28 dias. O ensaio consistiu em secar a amostra em estufa, na temperatura de  $(105 \pm 5^\circ\text{C})$  por no mínimo 72 h, resfriar ao ar até a temperatura ambiente e determinar a massa seca da amostra, depois da secagem imergindo a amostra em água, por 72 h. Após este tempo, a amostra foi seca com um pano e pesada, obtendo-se a massa saturada. Para os resultados, deve-se calcular a porcentagem de absorção por meio dos dados das massas seca e saturada.



### 3.3.5 Massa específica

Para determinação da massa específica, foi utilizada a norma NBR 9778 (ABNT, 2009), que consistiu nos mesmos passos do ensaio do item 3.3.4 e, com os dados obtidos no ensaio, foram realizados os cálculos para determinar os valores para as massas específicas seca, saturada e real.

### 3.3.6 Análise dos dados

A análise dos dados do estudo sobre a adição de fibras de papel kraft no concreto foram realizadas utilizando tabelas elaboradas no Excel. Essas tabelas foram usadas para comparar os traços do concreto com e sem adição de fibras, facilitando a visualização e comparação dos resultados. Foram considerados parâmetros, tais como: resistência à compressão axial, resistência à compressão diametral e massa específica. A interpretação dos dados foi feita com base na revisão bibliográfica e no embasamento teórico, identificando possíveis melhorias ou limitações associadas à adição das fibras de papel kraft no concreto.

Além das tabelas, também foram elaborados gráficos para auxiliar na análise dos dados do estudo sobre a adição de fibras de papel kraft no concreto. Esses gráficos foram construídos utilizando o software Excel e nos permite uma representação visual das variações e tendências observadas nos parâmetros estudados, como resistência à compressão axial, resistência à compressão diametral e massa específica. A utilização de gráficos facilita a identificação de padrões e possibilitou uma compreensão mais intuitiva dos resultados obtidos, contribuindo para a interpretação e discussão dos efeitos das fibras de papel kraft no comportamento do concreto.

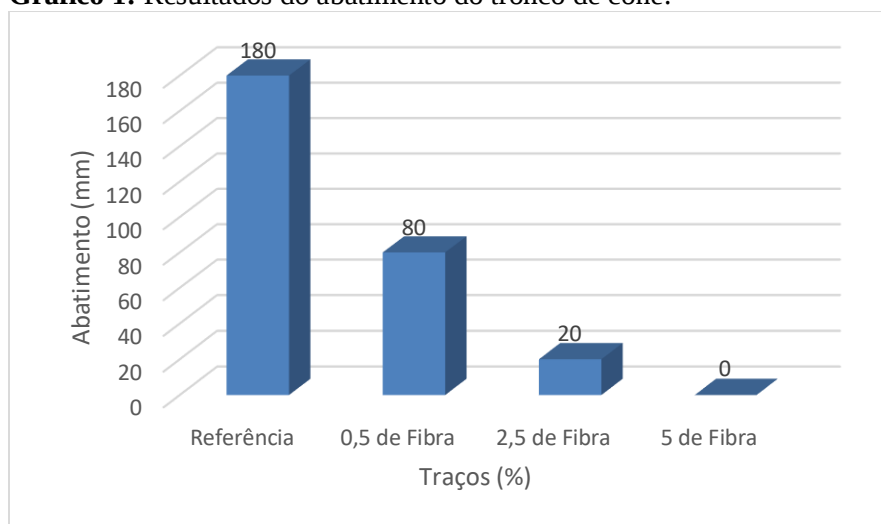
## 4. RESULTADOS e DISCUSSÕES

### 4.1 Concreto no estado fresco

No estado fresco, foi realizado o ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone – *Slump test* para melhor determinação da trabalhabilidade,

segundo as orientações da NBR 16889 (ABNT, 2020), e os resultados obtidos estão representados no Gráfico 1.

**Gráfico 1:** Resultados do abatimento do tronco de cone.



Fonte: Autores (2023).

Com base nos resultados apresentados no Gráfico 1, observou-se uma redução significativa na trabalhabilidade do concreto à medida que a concentração de fibras de papel kraft aumentavam, que em comparação com os resultados de Dias (2017), já era esperado, porque, ao adicionar fibras ao concreto, está adicionando também uma grande área superficial que demanda água de molhagem e, portanto, ocorre essa perda de consistência.

O concreto de referência apresentou um *slump* de 180 mm, o que é uma medida aceitável para muitas aplicações na construção. No entanto, quando adicionamos 0,5% de fibras, o *slump* diminuiu para 80 mm, indicando uma diminuição na fluidez do concreto. Ao adicionar 2,5% de fibras, o concreto apresentou um *slump* extremamente baixo de apenas 20 mm, sugerindo uma trabalhabilidade muito limitada. Além disso, ao tentar remover o molde após o teste, a amostra de concreto com 5% de fibras ruiu completamente, o que levanta preocupações significativas sobre sua viabilidade prática em aplicações na construção.

Dias (2017), que realizou ensaios com adição de fibras de papel kraft em argamassas, obteve um *slump* de 210 mm no traço de referência, e observou que, com a adição das fibras, o índice de consistência da argamassa diminuía, como ocorrido no ensaio realizado. O traço com a adição de 0,5% de fibra deu um resultado muito abaixo quando comparado ao traço de referência, mostrando uma redução na trabalhabilidade conforme adicionado as fibras. Os

demais traços com 1% e 1,5% apresentaram variações de reduções rigorosas na trabalhabilidade.

Observou-se, também, que no traço de referência o concreto possuía aparência mais úmida, e nos traços com adição das fibras o concreto apresentava estar mais seco na medida que a proporção das fibras aumentava. Dias (2017) relata que esse fato é justificado pela característica da fibra absorver parte da água do traço durante o processo de mistura, reduzindo o índice de consistência.

Outro fenômeno que interferiu na propriedade do concreto no estado fresco foi a coesão e, de acordo com Carvalho e Santos (2011), a presença de fibras confere maior coesão à mistura, ou seja, propicia maiores forças físicas de atração entre o concreto e as fibras, dificultando o seu espalhamento.

## 4.2 Concreto no estado endurecido

### 4.2.1 Resistência à compressão

As resistências obtidas no ensaio de compressão axial para os concretos produzidos com diferentes teores de fibras são apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3:** Resultados do ensaio de resistência à compressão axial.

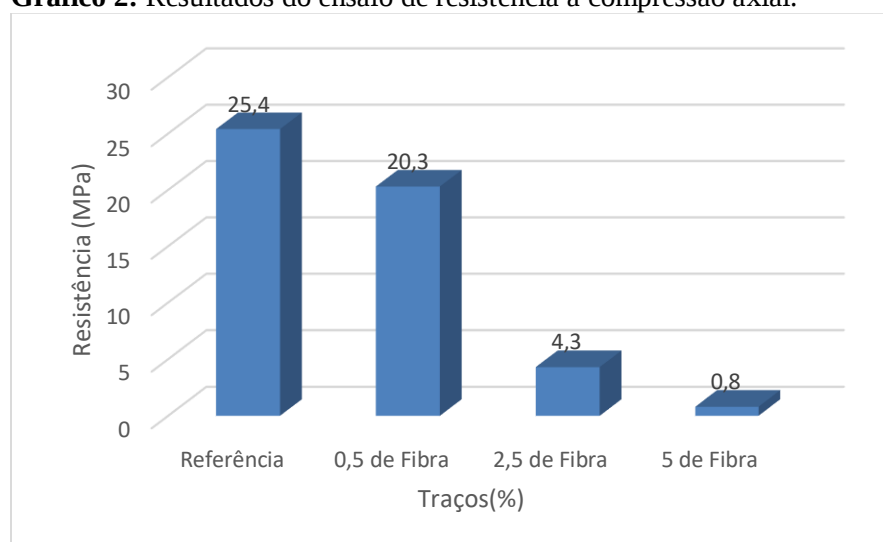
| TRAÇOS (%)   | AMOSTRAS | RESISTÊNCIA EM<br>28 DIAS (MPa) | DESVIO<br>PADRÃO (MPa) |
|--------------|----------|---------------------------------|------------------------|
| REFERÊNCIA   | CP1      | 25,4                            | 1,88                   |
|              | CP2      | 27,6                            |                        |
|              | CP3      | 23,0                            |                        |
| 0,5 DE FIBRA | CP1      | 19,7                            | 0,62                   |
|              | CP2      | 20,3                            |                        |
|              | CP3      | 21,2                            |                        |
| 2,5 DE FIBRA | CP1      | 6,0                             | 0,85                   |
|              | CP2      | 4,3                             |                        |
|              | CP3      | 4,1                             |                        |
| 5 DE FIBRA   | CP1      | 0,9                             | 0,08                   |
|              | CP2      | 0,8                             |                        |
|              | CP3      | 0,7                             |                        |

Fonte: Autores (2023).

Conforme dados apresentados na Tabela 3, observa-se que o traço com melhor desempenho em relação ao de referência foi o traço com 0,5% de fibras de papel kraft que

atendeu a classificação de agressividade ambiental I para lajes, que traz a resistência mínima de 20 MPa aos 28 dias, conforme estabelece a NBR 6118 (ABNT, 2023), porém, o mesmo traço apresentou menor valor que o traço de referência. Os traços com 2,5% e 5% de fibras não atingiram valor mínimo de resistência, sendo o teor de 5% apresentando menor desempenho entre os traços analisados. No Gráfico 2, são apresentados os resultados dos valores médios de resistência à compressão axial para cada traço.

**Gráfico 2:** Resultados do ensaio de resistência à compressão axial.



Fonte: Autores (2023).

De acordo com os resultados apresentados no Gráfico 2, observou-se redução na resistência em todos os traços analisados quando comparados ao concreto de referência, sendo essa redução em torno de 20% para o traço de 0,5%, 83% para o traço de 2,5% e 97% para o traço de 5%.

Um estudo realizado por Carvalho e Santos (2011) apresentou, em seus resultados, que houve uma redução da resistência mecânica nos traços que contiveram fibras, e explica que tal comportamento era esperado em razão a baixa resistência mecânica da fibra, maior porosidade do concreto e empobrecimento do traço com fibras.

A fibra por ser produzida a partir de um material com menor resistência que os demais presentes no concreto, evidencia menor resistência mecânica no traço com esse material em comparação ao de referência. Meneses (2011) menciona que esse fator acontece pelo concreto

com fibra requerer maior quantidade de água e apresentar maiores teores de ar incorporado e esses dois fatores resultam em concreto mais poroso, o que prejudica o desempenho mecânico.

Ainda durante os ensaios de resistência à compressão, foi observado um aspecto bastante positivo no concreto com fibras. Embora a carga de ruptura fosse a mesma, os corpos de prova no traço de referência, quando rompidos, apresentavam trincas de fácil visualização, já os corpos de prova com 0,5% de fibras, quando rompidos, apresentavam apenas fissuras. Com base na análise visual, os concretos com as fibras apresentaram menor grau fissuração, isso ocorre em decorrência da fibra de papel kraft proporcionar uma maior ductilidade ao concreto (CARVALHO e SANTOS, 2013).

#### 4.2.2 Resistência à tração por compressão diametral

As resistências obtidas no ensaio de tração por compressão diametral para os concretos produzidos com diferentes teores de fibras são apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4:** Resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

| TRAÇOS (%)   | AMOSTRAS | RESISTÊNCIA EM<br>28 DIAS (MPa) | DESVIO<br>PADRÃO (MPa) |
|--------------|----------|---------------------------------|------------------------|
| REFERÊNCIA   | CP1      | 3,1                             | 0,05                   |
|              | CP2      | 3,1                             |                        |
|              | CP3      | 3,2                             |                        |
| 0,5 DE FIBRA | CP1      | 2,4                             | 0,05                   |
|              | CP2      | 2,5                             |                        |
|              | CP3      | 2,5                             |                        |
| 2,5 DE FIBRA | CP1      | 1,1                             | 0,39                   |
|              | CP2      | 1,3                             |                        |
|              | CP3      | 0,4                             |                        |
| 5 DE FIBRA   | CP1      | 0,3                             | 0,09                   |
|              | CP2      | 0,1                             |                        |
|              | CP3      | 0,1                             |                        |

Fonte: Autores (2023).

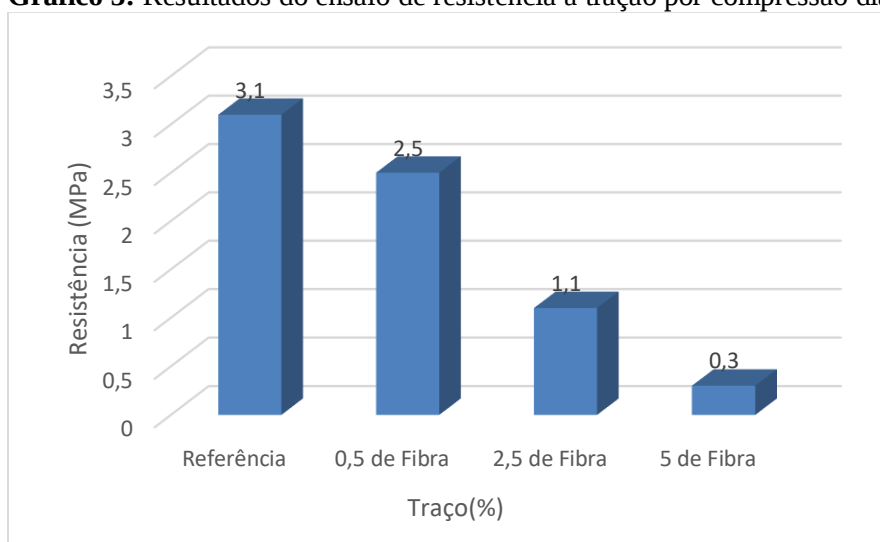
Considerando, como resistência mínima esperada para esse ensaio, uma resistência à tração em média de 10% do resultado encontrado no ensaio de compressão axial, ao observar os resultados apresentados na Tabela 4, verificou-se que todos os traços atenderam à resistência mínima esperada, o que demonstra, portanto, uma coerência nos resultados.

Ao comparar o traço de referência com os demais traços, nota-se diminuição na resistência à medida que a porcentagem de fibras é adicionada. Um dos objetivos da maioria

das fibras, quando adicionadas ao concreto, é proporcionar aumento na resistência à tração, mesmo que esse aumento não seja significativo. Esse comportamento é devido a fibra atuar como ponte de transferência de tensão que está diretamente relacionado à geometria da fibra (BENTUR e MINDESS, 2007). No caso desse tipo de fibra, talvez, por possuir dimensões muito pequenas, não apresenta o mesmo comportamento.

Para uma melhor visualização, no Gráfico 3 são apresentados os resultados dos valores médios de resistência à tração por compressão diametral de cada traço.

**Gráfico 3:** Resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral.



Fonte: Autores (2023).

De acordo com os resultados apresentados no Gráfico 3, observou-se redução na resistência em todos os traços analisados quando comparados ao concreto de referência, sendo essa redução em torno de 19% para o traço de 0,5%, 64% para o traço de 2,5% e 90% para o traço de 5%.

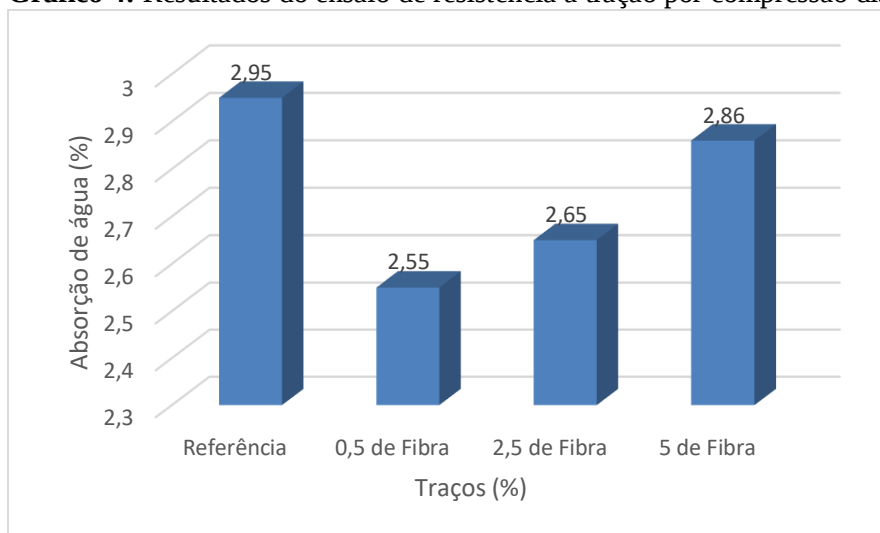
Silva (2006) realizou um estudo no qual apresentou resultados positivos, tanto no traço de referência quanto nos traços com adição de 0,5%, 1,0% e 1,5% de fibra de papel kraft. No traço de referência, ele obteve um incremento de resistência em torno de 1,5 MPa, e os demais traços mantiveram aproximadamente esse valor. O autor concluiu que a adição de fibras não influencia significativamente na resistência a tração por compressão diametral na argamassa.

#### 4.2.3 Absorção de água por imersão

A determinação do teor de absorção foi realizada por meio do cálculo com a obtenção da massa seca em estufa e a massa saturada por imersão dos corpos de prova, conforme NBR 9778 (ABNT, 2009).

Os resultados dos cálculos para a determinação do teor de absorção de água por imersão, são apresentados no Gráfico 4.

**Gráfico 4:** Resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral.



Fonte: Autores (2023).

Os resultados apresentados no Gráfico 4 mostram diminuição da absorção de água em todos os traços com fibras em relação ao traço de referência, pois a adição de fibras ocasionou diminuição no teor de ar incorporado no concreto, ocasionando uma maior massa específica e menor absorção de água (ALVES, 2016). Nota-se, também, que o aumento das fibras gera aumento na absorção de água.

Dias (2017) observou em seu estudo que os concretos com adição de fibras absorveram menor quantidade de água que o concreto de referência, assim, possuem menor índice de vazios. Observou, também, que houve um aumento de absorção diretamente ligado ao aumento da quantidade de fibra adicionada, ou seja, quanto maior a quantidade de fibra, maior a absorção de água e que, segundo o autor, a absorção de água não pode ser usada como medida de qualidade do concreto, entretanto, a maioria dos concretos, considerados com boa resistência, apresenta taxa de absorção inferior a 10%.



#### 4.2.4 Massa específica

Os dados de massa específica obtidos conforme especificações da NBR 9778 (ABNT, 2009) apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5:** Massa específica.

| MASSA<br>ESPECÍFICA | REFERÊNCIA | 0,5% | 2,5% | 5%   |
|---------------------|------------|------|------|------|
| SECA                | 3,77       | 3,49 | 2,52 | 3,08 |
| SATURADA            | 3,95       | 3,55 | 3,65 | 3,86 |
| REAL                | 3,93       | 3,60 | 3,08 | 3,27 |

Fonte: Autores (2023).

Observa-se, com base nos dados apresentados na Tabela 5, que não houve diferença significativa de massa específica entre os concretos com adição de fibra, não sendo possível destacar qual traço obteve maior absorção. O que pode ser constatado é que o traço de referência possui os maiores valores de massa específica.

Dias (2017) constatou em seu teste que, quanto maior o teor de fibras adicionado, menor a massa específica, tendo os maiores valores de massa específica o traço referência e o traço com 1,5% de adição de fibras.

O que se esperava dessa pesquisa era que houvesse aumento na massa específica à medida que as porcentagens das fibras fossem maiores, assim como Dias (2017) observou em seu trabalho e justificado pelo fato da fibra obter massa específica reduzida, quando comparada aos demais componentes do concreto, pois o concreto com fibras possui maior número de vazios.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo, foram utilizadas referências bibliográficas de trabalhos realizados com argamassa e fibras, uma vez que a literatura existente apresentou escassez de estudos sobre concretos reforçados com fibras de papel kraft.

Nesse trabalho, foi analisada a viabilidade da produção de concreto com a adição de fibras, originadas do papel kraft e utilizadas como embalagens de cimento, com o objetivo de dar uma destinação ambientalmente adequada para esse resíduo e verificando se essa adição

proporciona melhor desempenho para o concreto. Para essa análise, foram realizados ensaios de consistência do concreto, compressão axial, tração por compressão diametral e absorção de água.

Em relação à fibra de papel kraft, constatou-se que sua adição no concreto interfere nas propriedades físicas e mecânicas. A partir de observações visuais durante os ensaios, verificou-se menor grau de fissuração do traço com 0,5% de fibra em relação ao traço de referência. Carvalho e Santos (2011) relatam que esse efeito já era esperado, pois a resistência à fissuração é diretamente proporcional à quantidade de fibra, sendo assim, quanto maior o teor de fibra, menor o grau de fissuração.

Em contrapartida, ocorre a diminuição do grau de fissuração com o aumento do teor de fibra, ocasionando o problema de absorção de água. Como foi constatado nos trabalhos de Dias (2017), o aumento do teor de fibras também é diretamente proporcional ao aumento da absorção de água e, dessa forma, a adição de fibras de papel kraft ao concreto precisa manter-se dentro de um teor de faixa que não ultrapasse a absorção máxima e assim não prejudique a durabilidade do concreto.

Com os ensaios realizados, pode-se concluir que a adição das fibras de papel kraft diminui a resistência à compressão axial do concreto, porém em seu menor teor de 0,5% pode ser utilizada na produção de concreto com classe de agressividade ambiental I, sendo uma destinação adequada e sustentavelmente correta para esse material. Vale ressaltar que o intuito da pesquisa em questão é reduzir o impacto ambiental com o descarte dos sacos de cimento e dar uma destinação a esse material, promovendo, com outras medidas sustentáveis, uma obra com menos impacto ao meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

ALVES, L. S. **Influência da adição de fibras de celulose (papel kraft) nas características dos blocos de concreto não estrutural**. Universidade de Brasília. Brasília. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Panorama do Coprocessamento Brasil 2017**. Disponível em < <https://abcp.org.br/>>. Acesso em 15/03/2023.

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



\_\_\_\_\_. **NBR 17054:** Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 7211:** Agregados para concreto – Requisitos. Rio de Janeiro, 2022.

\_\_\_\_\_. **NBR 7222:** Concreto e argamassa – Determinação da resistência á tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndrico. Rio de Janeiro, 2011.

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

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

\_\_\_\_\_. **NBR 5738:** Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118:** Projetos de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2023.

BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre Reinforced Cementitious Composites**. London and New York: Modern Concrete Technology Series, 601 p. 2 ed. 2007.

BUSON, M. A. **Krafterra: Desenvolvimento e Análise Preliminar do Desempenho Técnico de Componentes da Terra com a Incorporação de Fibras de Papel Kraft provenientes da Reciclagem de Saco de Cimentos para Vedação Vertical**. Tese (Doutorado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília. Brasília. Distrito Federal. 2009.

CARDOSO, L. M. Plataforma SIENGE. **Tudo sobre Resíduos Sólidos na Construção Civil**. 2022. Disponível em <https://www.sienge.com.br/blog/residuos-solidos-da-construcao-civil/>. Acesso em 14/03/2023.

CARVALHO, P. E. F.; SANTOS, L. R. **Avaliação de argamassas com fibras de papel kraft proveniente de embalagens de cimento**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2011.

CARVALHO, P. E. F.; SANTOS, V. D. B.; CARASEK, H. **Estudo da durabilidade de argamassas com fibras kraft**. Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Argamassas, 10. Anais SBTA. Fortaleza. 2013.



CONAMA. **Resíduos da Construção Civil**. Resolução 307, de 05 de julho de 2002. Ministério do Meio Ambiente. Brasília.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DE SÃO PAULO - CREA-SP. Livro técnico da área de Jaboticabal: Resíduos da Construção Civil. Jaboticabal – SP. 2017. Disponível em [http://areajaboticabal.org.br/pdf/livro\\_residuos.pdf](http://areajaboticabal.org.br/pdf/livro_residuos.pdf). Acesso em 28/04/2023.

DIAS, R. A. (2017) **Avaliação da interferência da adição de fibras de papel kraft em argamassas**. Monografia de Projeto Final, Publicação G.PF-002/17, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília. Distrito Federal. 2017.

DINIZ, S. N. S. **Krafterra – Sacos de Cimento (resíduo) na Construção Civil**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró – RN. 2018.

FELISSER, F. **Avaliação do desempenho de concreto reforçado com fibras de polietileno tereftalato (pet)**. Programa de pós-graduação de em engenharia civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2002.

FIGUEIREDO, A. D. TANESI, J. NINCE, A. A. **Concreto com fibras de Polipropileno**. Revista Técnica. São Paulo. 2011.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos**. 2021. Disponível em < <https://www.ipea.gov.br>>. Acesso em 14/03/2023.

KLOCK, U. ANDRADE, A. S. HERNANDES, J. A. **Polpa e Papel**. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2013.

MENESES, I. A. **Avaliação de concreto com adição de fibras de pet submetidos a altas temperaturas**. Programa de pós-graduação de em engenharia civil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2011.

SILVA, R. P. **Argamassas com adição de fibras de polipropileno – estudo do comportamento reológico e mecânico**. 191f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Construção Civil. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2006.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO – SNIC. **Resultados Preliminares de dezembro de 2022**. Disponível em < <http://snic.org.br/numeros-resultados-preliminares>>. Acesso em 15/03/2023.