

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**GABRIEL GOMES ABADIA**

**MATHEUS HENRIQUE DE ARAUJO ALVARENGA**

**RAPHAEL BARBOSA OLIVEIRA**

**THALYTA BORGES DA SILVA PEDERSOLLI**

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS  
DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE PAPEL KRAFT**

**ANÁPOLIS / GO**

**2022**

**GABRIEL GOMES ABADIA**  
**MATHEUS HENRIQUE DE ARAUJO ALVARENGA**  
**RAPHAEL BARBOSA OLIVEIRA**  
**THALYTA BORGES DA SILVA PEDERSOLLI**

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS**  
**DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE PAPEL KRAFT**

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

**ORIENTADORA: KÍRIA NERY ALVES DO ESPÍRITO SANTO**  
**GOMES**

**ANÁPOLIS / GO: 2022**

## FICHA CATALOGRÁFICA

ABADIA, GABRIEL GOMES/ ALVARENGA, MATHEUS HENRIQUE DE ARAUJO/  
OLIVEIRA, RAPHAEL BARBOSA/ PEDERSOLLI, THALYTA BORGES DA SILVA

Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do concreto com adição de papel kraft.

50P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2022).

TCC - UniEVANGÉLICA  
Curso de Engenharia Civil.

- |                   |                     |
|-------------------|---------------------|
| 1. Resíduo Sólido | 2. Papel Kraft      |
| 3. Reciclagem     | 4. Compressão Axial |
| I. ENC/UNI        | II. Bacharel        |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABADIA, Gabriel Gomes; ALVARENGA, Matheus Henrique de Araujo; OLIVEIRA, Raphael Barbosa; PEDERSOLLI, Thalyta Borges da Silva. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do concreto com adição de papel kraft. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 50p. 2022.

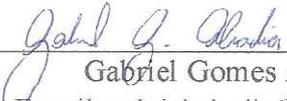
## CESSÃO DE DIREITOS

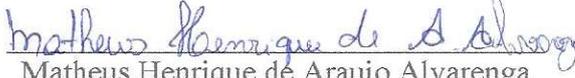
NOME DOS AUTORES: Gabriel Gomes Abadia; Matheus Henrique de Araujo Alvarenga; Raphael Barbosa Oliveira; Thalyta Borges da Silva Pedersolli.

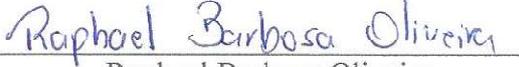
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do concreto com adição de papel Kraft.

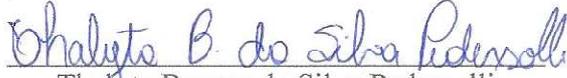
GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2022

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.

  
\_\_\_\_\_  
Gabriel Gomes Abadia  
E-mail: gabriel.abadia@hotmail.com

  
\_\_\_\_\_  
Matheus Henrique de Araujo Alvarenga  
E-mail: matheusalv2010@gmail.com

  
\_\_\_\_\_  
Raphael Barbosa Oliveira  
E-mail: raphaelb\_o@hotmail.com

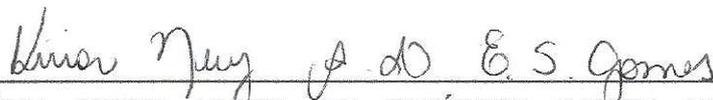
  
\_\_\_\_\_  
Thalyta Borges da Silva Pedersolli  
E-mail: thalytaborges05@hotmail.com

**GABRIEL GOMES ABADIA**  
**MATHEUS HENRIQUE DE ARAUJO ALVARENGA**  
**RAPHAEL BARBOSA OLIVEIRA**  
**THALYTA BORGES DA SILVA PEDERSOLLI**

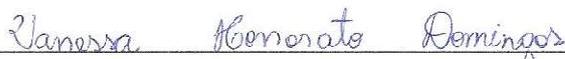
**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS  
DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE PAPEL KRAFT**

**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**

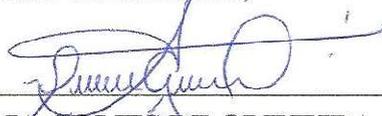
**APROVADO POR:**



**KÍRIA NERY ALVES DO ESPÍRITO SANTO GOMES, Mestra**  
**(UnIEVANGÉLICA)**  
**(ORIENTADORA)**



**VANESSA HONORATO DOMINGOS, Mestra (UnIEVANGÉLICA)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**



**CLÁUDIA GOMES DE OLIVEIRA, Mestra (UnIEVANGÉLICA)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 03 de JUNHO de 2022.**

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaríamos de agradecer primeiramente a Deus, por ter nos sustentado e nos dado forças para alcançarmos nossos objetivos e concluirmos nossa tão sonhada graduação em engenharia civil. Agradecer aos nossos pais por todo apoio e compreensão, por sonharem juntamente conosco, por se dedicarem e, muitas vezes, abdicarem de projetos pessoais para que tivéssemos a oportunidade de estudar e atingir uma boa formação profissional e pessoal. E, por fim, agradecer a todos os professores do curso de Engenharia Civil da Universidade Evangélica de Goiás, por todo conhecimento compartilhado, por toda paciência ao longo desses anos e pela excelência da qualidade técnica de cada um.

Gabriel Gomes Abadia

Matheus Henrique de Araujo Alvarenga

Raphael Barbosa Oliveira

Thalyta Borges da Silva Pedersolli

## 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 muito dos casos esses resíduos possuem um bom potencial de serem reciclados. Nesse cenário estão inseridas as embalagens de cimento, considerando que em 2019, segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), foram despachadas 54.800 toneladas de cimento e desse total 68% foi em forma ensacada, o que contribui para a geração de um grande volume de embalagem de cimento. O presente trabalho busca avaliar a viabilidade da utilização das fibras de celulose oriundas da reciclagem do papel Kraft (embalagem de cimento) em diferentes teores como um agregado no concreto, a fim de proporcionar uma destinação ambientalmente correta para o resíduo. Para a realização do trabalho foi executado a reciclagem do saco de cimento até a obtenção das fibras celulósicas, no qual foi inserido no concreto substituindo o agregado miúdo (areia) em proporção equivalente de massa, sendo uma proporção de 0,5%, 2% e 5%. O objetivo é avaliar em laboratório o desempenho do concreto em estado fresco através do ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (*Slump test*) e no estado endurecido, analisando a resistência à compressão axial e comparando os resultados com o de referência, o qual não há a adição das fibras. A partir dos resultados obtidos avaliou que, no ensaio de *Slump test*, apenas o concreto com adição de 0,5% obteve resultado satisfatório com um adensamento de 7,4 cm e nos resultados obtidos pelo teste de resistência à compressão axial, apenas o concreto com adição de 0,5% de fibras de papel Kraft, obteve a resistência mínima de 25 MPa aos 28 dias, tendo uma performance bem próxima do referência, o que viabiliza sua utilização como agregado no concreto, visando uma obra mais sustentável e promovendo uma destinação sustentável ao resíduo gerado dos sacos de cimento.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Resíduo Sólido. Papel Kraft. Reciclagem. *Slump test*. Compressão axial.

## **ABSTRACT**

Civil construction is considered one of the biggest causes of environmental impact, both due to the high consumption of natural resources and the generation of solid waste, which for the most part are improperly disposed of, and in many cases these residues have good potential to be recycled. Cement packaging is included in this scenario, considering that in 2019, according to the National Cement Industry Union (SNIC), 54,800 tons of cement were shipped and 68% of this total was in bagged form, which contributes to the generation of a large volume of cement packaging. The present work seeks to evaluate the feasibility of using cellulose fibers from the recycling of Kraft paper (cement packaging) in different contents as an aggregate in concrete, in order to provide an environmentally correct destination for the residue. To carry out the work, the cement bag was recycled until the cellulosic fibers were obtained, in which it was inserted into the concrete replacing the fine aggregate (sand) in an equivalent proportion of mass, being a proportion of 0.5%, 2% and 5%. The objective is to evaluate in the laboratory the performance of concrete in the fresh state through the test of consistency determination by the slump test (Slump test) and in the hardened state, analyzing the axial compressive strength and comparing the results with the reference, which there is no addition of fibers. From the results obtained, it was evaluated that, in the Slump test, only the concrete with the addition of 0.5% obtained satisfactory results with a densification of 7.4 cm and in the results obtained by the axial compressive strength test, only the concrete with the addition of 0.5% Kraft paper fibers, it obtained a minimum strength of 25 MPa at 28 days, having a performance very close to the reference, which makes its use as an aggregate in concrete, aiming at a more sustainable work and promoting a sustainable destination for the waste generated from cement bags.

### **KEYWORDS:**

Solid waste. Kraft paper. Recycling. Slump test. Axial compression.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dados do relatório anual do SNIC, referente ao ano de 2019 para cimento despachado em forma ensacada (SNIC).....	23
Figura 2 - Fotografia das fibras de <i>Bambusa Vulgaris</i> .....	24
Figura 3 - Classificação das fibras vegetais .....	27
Figura 4 - Esquema de uma fibra vegetal com dimensões aproximadas.....	27
Figura 5 - Etapas do processo de reciclagem das embalagens de cimento.....	29
Figura 6 – Fibras do papel Kraft após a trituração .....	30
Figura 7 – Preparação para obtenção das fibras .....	34
Figura 8 – Liquidificador de alta potência.....	35
Figura 9 – Fibras do papel Kraft.....	36
Figura 10 – Corpos de prova moldados.....	40
Figura 11 – Corpos de prova com teor de 2% e 5% respectivamente.....	41
Figura 12 – Ensaio de <i>slump test</i> teor 0,5% .....	42
Figura 13 – Prensa universal .....	43
Figura 14 – Slump test traço 2% .....	44
Figura 15 - Slump test traço 5%.....	45
Figura 16 – Traço referência .....	47
Figura 17 – Traço com adição de 0,5%.....	47

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Informações necessárias nas etapas de elaboração do PGIRS .....	18
--	----

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resistência mecânica à compressão axial .....	45
Gráfico 2 - Resistência mecânica à compressão axial.....	46

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Caracterização das fibras de papel Kraft .....	36
Tabela 2 - Caracterização do agregado miúdo - areia .....	37
Tabela 3 - Caracterização do agregado graúdo - brita.....	38
Tabela 4 – Traço utilizado para fabricação do concreto referência.....	39
Tabela 5 – Traços utilizados para moldagem dos corpos de prova .....	39
Tabela 6 – Resultados do abatimento do tronco de cone .....	44

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABCP	Associação Brasileira Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMDA	Associação Mineira de Defesa do Ambiente
Art.	Artigo
cm	Centímetro
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP's	Corpos de Prova
DMC	Dimensão Máxima Característica
FIHP	<i>Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado</i>
Kg	quilograma
MPa	Mega Pascal
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RRC	Resíduo da Construção Civil
SNIC	Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	14
1.2	OBJETIVOS .....	14
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>14</b>
1.3	METODOLOGIA .....	15
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
2.1	RESÍDUOS SÓLIDOS .....	16
<b>2.1.1</b>	<b>Definição e Classificação.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Gerenciamento de Resíduos Sólidos .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Reutilização de resíduos sólidos .....</b>	<b>20</b>
2.2	RESOLUÇÃO 307 - CONAMA.....	21
2.3	PAPEL KRAFT .....	23
<b>2.3.1</b>	<b>Obtenção da Celulose.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Fibra Vegetal.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Reciclagem do Papel Kraft .....</b>	<b>29</b>
2.4	CONCRETO .....	30
<b>2.4.1</b>	<b>Concreto com resíduos.....</b>	<b>31</b>
<b>3</b>	<b>PROGRAMA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>33</b>
3.1	ESCOLHA E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	33
<b>3.1.1</b>	<b>Seleção dos materiais.....</b>	<b>33</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Caracterização e quantificação dos materiais .....</b>	<b>33</b>
3.1.2.1	Aglomerante mineral .....	33
3.1.2.2	Resíduo da fibra de papel Kraft.....	34
3.1.2.3	Areia .....	37
3.1.2.4	Brita .....	37
3.2	MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA.....	38
<b>3.2.1</b>	<b>Dosagem do concreto.....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Moldagem dos corpos de prova.....</b>	<b>39</b>
3.3	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO.....	41
<b>3.3.1</b>	<b><i>Slump test</i>.....</b>	<b>41</b>

<b>3.3.2 Resistência a compressão axial.....</b>	<b>42</b>
<b>4 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>44</b>
4.1 CONCRETO NO ESTADO FRESCO.....	44
4.2 CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO.....	45
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>48</b>
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	48
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos no Brasil, teve um aumento significativo nos últimos anos, devido à alta demanda na construção civil. Com isso, observa-se a falta de áreas destinadas ao descarte e reaproveitamento correto desses resíduos.

Segundo dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (2020), entre 2010 e 2019, a geração de resíduos sólidos no Brasil registrou considerável incremento passando de 67 milhões para 79 milhões de toneladas por ano. Por sua vez, a geração per capita aumentou de 348 kg/ano para 379 kg/ano. E, de acordo com dados da Plataforma SIENGE (2017), vê-se que a construção civil é responsável por produzir 50% dos resíduos do país. Esses resíduos podem ocasionar altos impactos ambientais quando descartados de forma incorreta tendo, assim, a opção de reutilizá-los em obras visando a sustentabilidade.

O uso do cimento tem crescido efetivamente. De acordo com dados do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento – SNIC (2019), o principal vetor de demanda de cimento vem sendo o setor imobiliário, responsável por cerca de 90% do consumo do produto. Assim, vê-se a proporção de resíduos que são descartados, muitas vezes de forma incorreta, devido à crescente demanda de insumos às obras. Nesse caso, tem-se a embalagem do cimento como assunto principal para levantamento de questões e ideias, referentes ao seu reaproveitamento como um agregado para o concreto.

Neste trabalho serão levantadas sugestões para o reaproveitamento do papel Kraft, como meio de reduzir a geração de resíduos na construção civil, utilizando-o como um agregado para o concreto. O papel Kraft é desenvolvido através da mistura de variados tipos de fibras de celulose, que são encontradas na polpa de madeiras macias. Com isso, ele se torna um produto de alta resistência apresentando, também, maciez e flexibilidade (GEARTECH BRASIL, 2020).

O saco de papel Kraft, utilizado nas embalagens de cimento, pode gerar grandes quantidades de resíduos. Com isso, pode-se encontrar meios de viabilizar a aplicação de suas fibras na área prática da produção de concreto e, também, tornar habitual o uso das mesmas. Portanto, tem-se a proposta de redução no consumo do concreto e reutilização do papel Kraft na construção civil, como uma forma de avanço sustentável.

Perante a isso, toma-se o caráter econômico, social e ambiental do estudo em questão. Fazendo com que, a ideia da aplicação da reutilização de resíduos sólidos, se torne ainda mais presente nos processos construtivos. Despertando, assim, o interesse pela reciclagem dos resíduos, tendo em vista uma finalidade para cada um deles.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

De acordo com Fernandes e Amorim (2014), o desenvolvimento sustentável tem se tornado, nos últimos anos, um foco das empresas. O crescimento populacional e desenvolvimento econômico demandam uma utilização notável de matéria prima para construções, gerando resíduos sólidos e, conseqüentemente, problemas ambientais. Hoje, é de grande importância um estudo em que se avalie o comportamento do concreto com adição de resíduos, tanto economicamente quanto ambientalmente falando.

A construção civil não para e, como consequência, a venda de materiais também não. Com isso, tem-se a crescente busca pelo cimento, muito utilizado nas construções, o qual tem sua embalagem feita de papel Kraft. O papel Kraft se destaca devido à sua rigidez e resistência, podendo ser reutilizado em outras áreas, gerando ideias para que seu descarte seja feito de forma correta e sustentável.

Este trabalho favorecerá tanto os autores quanto os interessados pelo assunto, que buscam saber quais as vantagens e desvantagens desse processo de reutilização de resíduos na construção civil. Estudos em vários países, quanto às possibilidades de reaproveitamento dos resíduos como agregados, apresentam diversas vantagens em aspectos econômicos e diminuição da poluição gerada, haja vista a preocupação do aumento na geração de resíduos provenientes da construção civil (PEREIRA *et al.*, 2012).

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a viabilidade da utilização do papel Kraft como agregado no concreto, estimando assim os resultados da junção desses resíduos na preparação do concreto para que, assim, após o tempo de cura, obtenha-se a resistência esperada no mesmo.

### 1.2.2 Objetivos específicos

A fim de se obter o objetivo geral tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Conhecer e caracterizar os materiais a serem utilizados;
- Dosar um traço de concreto com a utilização de papel Kraft;

- Realizar os ensaios de abatimento de tronco de cone no concreto fresco e determinar a resistência à compressão axial no concreto em estado endurecido;
- Analisar os resultados e verificar a viabilidade do uso do papel Kraft.

### 1.3 METODOLOGIA

A metodologia empregada para a elaboração deste trabalho segue por referenciais teóricos, como: artigos científicos, relatórios técnicos, trabalho de conclusão de curso e normas técnicas. A verificação da viabilidade do uso do papel Kraft no concreto, será feita através de análises experimentais, tais como: ensaio de abatimento de tronco de cone (*Slump test*) e ensaio de resistência à compressão axial. Os ensaios serão feitos no laboratório de materiais de construção civil da UniEVANGÉLICA, em Anápolis-GO.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho situa-se em cinco capítulos. Neste primeiro capítulo está presente a introdução, onde se apresenta as considerações iniciais do tema abordado, a justificativa da importância do tema, assim como os objetivos gerais e específicos da pesquisa.

O segundo capítulo apresenta-se um referencial teórico com relação aos aspectos e considerações sobre os resíduos sólidos, a resolução 307 – CONAMA, do papel Kraft e, por fim, a abordagem sobre o concreto com resíduos.

O terceiro capítulo aborda o programa experimental, descrevendo-se a metodologia utilizada para a verificação quanto a viabilidade do uso do papel Kraft no concreto. Está dividido em caracterização dos materiais, moldagem dos corpos de prova e ensaios de caracterização do concreto.

O quarto capítulo são apresentados os resultados e discussões quanto aos ensaios realizados, os quais consistem no ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone (*Slump test*) e na determinação da resistência à compressão axial do concreto.

No quinto capítulo é apresentada a conclusão obtida através desse estudo e as sugestões para pesquisas futuras.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

#### 2.1.1 Definição e Classificação

Segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004, p. 1), resíduos sólidos são aqueles que:

“resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cuja particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções, técnica e economicamente, inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.”

Ainda segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004), pode-se classificar os resíduos por meio do processo ou atividade no qual deu sua origem e de suas constituintes, observando suas características e comparando com listagens de substâncias e resíduos cujo impacto ao meio ambiente e a saúde já são conhecidas.

Segundo Schalch *et al.* (2002), os resíduos normalmente são classificados como resíduos urbanos, industriais, resíduos de serviços de saúde, resíduos de portos; aeroportos; terminais rodoviários e ferroviários, resíduos agrícolas, entulhos e resíduos radioativos.

Resíduos Urbanos são aqueles gerados em residências, comércios, que normalmente são de escritórios, lojas, supermercados, restaurantes e outros estabelecimentos afins, resíduos de serviços que é oriundo da limpeza pública, limpeza de terrenos, galerias, córregos, feiras, capinação, podas e praias (SCHALCH *et al.*, 2002).

Segundo Schalch *et al.* (2002), os resíduos industriais correspondem aos resíduos gerados em indústrias de processamento e a NBR 10.004 (ABNT, 2004) classifica-os pelo seguinte agrupamento:

- Classe I (resíduos perigosos): possuem características inflamáveis, corrosíveis, toxidade e patogenicidade, na qual apresentam riscos à saúde pública;
- Classe II (resíduos não perigosos): alguns exemplos como restos de alimentos, sucatas de metais ferrosos, resíduos de papel e papelão entre outros presentes no Anexo H da NBR 10.004 (ABNT, 2004) página 71;

- Classe II A (resíduos não inertes): que se aplicam a resíduos potencialmente biodegradáveis ou combustíveis;
- Classe II B (resíduos inertes): se aplica a resíduos não combustíveis como pedras, areia, entulho de demolições.

Resíduos de serviços de saúde são aqueles oriundos de hospitais, clínicas médicas e veterinárias, laboratórios, farmácias, consultórios odontológicos entre outros estabelecimentos afins. Podem ser agrupados como resíduos comuns que são restos de alimentos, papéis e invólucros e resíduos sépticos que são restos de matérias de salas de cirurgias, áreas de isolamento e centros de hemodiálise (SCHALCH *et al.*, 2002).

Resíduos de portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferrovias consistem em resíduos sépticos que contem materiais de higiene pessoal, restos de alimentos. Os resíduos agrícolas são oriundos das atividades da agricultura e pecuária, englobando embalagem de adubos, defensivos agrícolas, ração, restos de colheitas e esterco animal (SCHALCH *et al.*, 2002).

Os entulhos são resíduos gerados em obras como, demolições, solos de escavação e novas construções, ou seja, qualquer resíduo proveniente da construção civil e que é classificada como Resíduo da Construção Civil (RRC). Compõe de vários materiais como plásticos, isolantes, papel, madeiras, metais, concretos, argamassas, blocos, tijolos, telhas, gessos, dentre outros (ÂNGULO, 2005).

Os resíduos radioativos são provenientes dos combustíveis nucleares (SCHALCH *et al.*, 2002).

Há uma série de normas e leis aplicáveis aos resíduos no Brasil, porém, a principal lei que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é a Lei nº 12.305/2010, essa lei define que, todas as empresas geradoras de resíduos são responsáveis pela gestão e gerenciamento de seus resíduos até uma destinação final. Deverão também elaborar um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) e a maneira que deve ser realizado a destinação correta desses resíduos sólidos (VGR, 2020).

O conteúdo mínimo obrigatório dos PGRS é constituído de 19 itens descritos no artigo nº 19 da PNRS, dentre as categorias, ressalta-se 5 itens que são descritas no Quadro 1 (PERUCHIN *et al.*, 2019)

**Quadro 1 - Informações necessárias nas etapas de elaboração do PGIRS**

Etapa	Dados atribuídos
Diagnóstico	-Tipos de resíduos gerados, caracterização e quantificação dos resíduos gerados; -Volumes gerados e destinados; -Coleta de resíduos: tipo, periodicidade, abrangência -Tipos de destinação final: aterro sanitário, reciclagem, compostagem, ou outro tipo de destinação final;
Indicadores de desempenho e metas de melhoria	-Custos envolvidos no gerenciamento; -Quantidade de resíduo enviada para aterro, reciclagem ou outra forma de destinação; -% de resíduos potencialmente recicláveis gerados; -% de resíduos encaminhados para beneficiamento;
Programas de educação ambiental e capacitação técnica	-Histórico de programas ambientais e capacitações técnicas realizados no município; -Indicadores sobre a gestão dos resíduos; -Evolução da reciclagem no município;
Mecanismos de valorização dos resíduos e da frente trabalhadora	-Composição gravimétrica dos resíduos: o que pode ser reciclado, compostado ou enviado para outra alternativa de aproveitamento; -Número de trabalhadores envolvidos na coleta e reciclagem dos resíduos; -Existência de centrais de triagem de resíduos nos municípios;
Meios de controle, fiscalização e operacionalização do plano	-Eficiência dos sistemas de coleta regular e seletiva; -Quantidade de resíduos enviados para aterro sanitário, reciclagem ou outras alternativas de destinação final; -Evolução dos índices de coleta seletiva e reciclagem; -Levantamento dos empreendimentos envolvidos na logística reversa; -Órgãos fiscalizadores e ações de melhoria.

Fonte: PERUCHIN *et. al.*, 2019.

O manejo desses resíduos deve ocorrer de forma correta para a garantia da qualidade de vida e evitar danos ao meio ambiente, seguindo as orientações da norma NBR 13.221 (ABNT, 2021), que trata do transporte terrestre de resíduos. Vários fatores influenciam na forma correta de realizar o manejo dos resíduos, dentre os quais se ressaltam: forma de geração, o acondicionamento, coleta, transporte, processamento, recuperação e sua disposição final (SCHALCH *et al.*, 2002).

### 2.1.2 Gerenciamento de Resíduos Sólidos

O gerenciamento de resíduos sólidos segundo Tchobanoglous *et al.* (1993) é definida como uma disciplina associada ao controle de geração, estocagem, coleta, transporte,

transferência, processamento e disposição dos resíduos, seguindo os princípios da saúde pública, economia, engenharia, conservação, estética e de proteção ao meio ambiente. Dessa forma, gerenciar os resíduos exige o emprego das melhores técnicas e envolve uma complexa relação interdisciplinar, envolvendo os aspectos políticos e geográficos, planejamento regional e local (SCHALCH *et al.*, 2002).

Schalch *et al.* (2002) ainda ressalta que, a proposta para um modelo de gerenciamento dos resíduos envolve um sólido conhecimento das distintas formas de tratamento e destinação. Dessa maneira, as mais presentes são: reciclagem, compostagem, incineração e aterro sanitário:

- **Reciclagem:** segundo a Resolução do CONAMA nº 307, reciclagem “é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação”, dessa forma Beltrão (2014) cita que a reciclagem envolve a transformação dos materiais descartados em outro material utilizável no ciclo de produção. A reciclagem é vista como um elemento em um conjunto de atividades integradas no gerenciamento dos resíduos, não é vista como uma principal solução já que, nem todo material é economicamente viável para reciclar, um exemplo disso é o aço;
- **Compostagem:** é definida como sendo um processo de transformação de resíduos orgânicos provenientes dos resíduos sólidos domiciliares em adubo orgânico em seu processo final. É dividida em dois estágios, o primeiro com a denominação de digestão, correspondendo a fase da fermentação, na qual o material alcança seu estado de bioestabilização e o segundo estágio, sendo a mais demorada, denominada maturação, no qual a massa atinge a humificação, estado em que apresenta as melhores condições como solo e fertilizante;
- **Incineração:** é a prática de empilhar os resíduos e atear fogo, costume esse que vem de vários séculos, atualmente é mais comum em zonas rurais e periferias de grandes cidades onde a coleta de resíduos é deficiente;
- **Aterro sanitário:** segundo a NBR 8419 (ABNT, 1992, p. 1) aterro sanitário é definido como:

“Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada

de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.”

### 2.1.3 Reutilização de resíduos sólidos

Nos últimos anos tem-se notado um desenvolvimento acelerado das grandes cidades na área da construção civil, tanto comercial como residencial, com isso tem-se o aumento dos resíduos sólidos que restam nas obras e construções que, na sua grande maioria, não têm um destino adequado.

A construção civil tem uma grande porcentagem de impacto industrial no meio ambiente, estima-se que 50% dos recursos naturais extraídos estão relacionados a construção. Mesmo sendo um grande setor de representatividade na economia do país é também um enorme inimigo ambiental por consumir grandes recursos naturais e produzir alta escala de poluição em suas fases construtivas (LINTZ, 2012).

Segundo Gouveia (2012), a reutilização dos resíduos nos processos produtivos como insumo gera grandes benefícios, tanto por meio da redução da poluição ambiental causadas pelos aterros como na diminuição de uso de matéria prima virgem que em ambos os casos há potencial diminuição da emissão de gases que estão relacionados ao aquecimento global.

Kilbert (1994) propõe maior tempo de planejamento para diminuir o consumo de matéria prima e geração de resíduos e retificação de materiais descartados para possível reutilização. Também propõe o uso de materiais recicláveis de matéria prima renovável e a procura de novas técnicas onde o ambiente da obra seja autossustentável para diminuir o uso das matérias primas do meio ambiente.

Um estudo realizado em Portugal, Couto *et al.* (2006) trouxe a desconstrução como um possível modelo que possibilita a recuperação de materiais e componentes da construção, permitindo a reutilização e reciclagem dos materiais. Para se alcançar a aceitação e o entendimento da desconstrução é necessário a promoção da regulamentação ambiental e a melhoria no conhecimento e sensibilização pelos donos, projetistas e empreiteiros.

Ainda segundo Couto *et al.* (2006), a desconstrução além de promover a reutilização e reciclagem dos materiais possibilita a inovação da tecnologia e o aparecimento de um novo mercado, o de materiais usados. Leite (2001) também reforça a ideia da desconstrução e reutilização dos resíduos e alega que, a caracterização sistemática dos agregados, produzidos a partir de resíduos de demolição e da própria construção permitirá uma melhor difusão de seu uso como agregado em concretos.

## 2.2 RESOLUÇÃO 307 - CONAMA

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA é um órgão criado em 1982 instituído pela Lei nº 6.938/81 e é presidido pelo Ministro do Meio Ambiente, sendo um colegiado formado por cinco setores: órgãos federais, estaduais e municipais, setor empresarial e entidades ambientalistas (CONAMA, 2018).

Segundo o CONAMA (2018), o órgão reúne-se a cada 3 meses no Distrito Federal, podendo realizar reuniões de forma extraordinária fora do Distrito Federal sempre que convocada pelo presidente ou requerida por 2/3 dos membros. Essas reuniões são públicas e abertas a toda sociedade.

O CONAMA (2018) traz as competências previstas em lei federal e dentre as principais estão: estabelecer normas e critérios para o licenciamento de atividades efetivas ou potencialmente poluidoras; determinar a realização de estudos dos possíveis impactos ambientais de projetos públicos e privados; elaborar instrumentos normativos para garantir o uso racional dos recursos ambientais. São atos do CONAMA as resoluções, moções, recomendações e proposições (CONAMA, 2018).

De acordo com a resolução nº 307, de 5 de julho de 2002 (BRASIL, 2002), no uso das competências que lhe foram concebidas em lei, o CONAMA deve estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil para minimizar os impactos ambientais, considerando que os geradores dos resíduos sólidos da construção civil devem ser responsabilizados pela administração adequada dos rejeitos. E, para isso, o Art. 2º da resolução adota a seguinte definição para resíduo sólido: são provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos. Os geradores, pessoas físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, terão como objetivo a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos e a disposição final adequada ambientalmente (nova redação dada pela Resolução 448/12).

A Resolução CONAMA 307/2002 classifica os resíduos da construção civil de acordo com as seguintes classes:

- Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: telhas, blocos, tijolos, tubos, placas de revestimento, argamassa, concreto etc.;
- Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras, gesso e outros;

- Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação.
- Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde (nova redação dada pela Resolução Conama nº 348/2004).

Um importante instrumento, consolidado pelo CONAMA 307/2002, para implementação da gestão dos resíduos sólidos é o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, o qual incorpora o Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (coordenado pelos municípios e pelo Distrito Federal) e Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (elaborado e implementado pelos geradores não enquadrados no programa municipal).

Segundo o Art. 9º do CONAMA 307/2002, os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil deverão conter as seguintes etapas:

- I - Caracterização: o gerador deverá identificar e quantificar os resíduos;
- II - Triagem: deverá ser realizada preferencialmente na origem, respeitando as classes estabelecidas no Art. 3º desta Resolução;
- III - Acondicionamento: o gerador deverá garantir o armazenamento dos resíduos de forma que assegure as condições de reciclagem ou reutilização, desde a geração até a etapa de transporte do resíduo;
- IV - Transporte: deverá ser realizado em conformidade com as etapas anteriores e de acordo com as normas técnicas vigentes para o transporte de resíduos;
- V - Destinação: deverá ser prevista de acordo com o estabelecido nesta Resolução.

Além disso, fica estabelecido pelo Art. 10º do CONAMA 307/2002, as seguintes formas de como os resíduos devem ser destinados de acordo com a sua classe:

- I – Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
- II – Classe B: deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
- III – Classe C: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

IV - Classe D: deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Desta forma, o CONAMA atua de forma importante no controle dos resíduos da construção civil. De acordo com Miranda *et al.* (2009), após a implementação do órgão em 2002, a reciclagem dos resíduos sólidos de construção e demolição aumentou de forma significativa. Os resultados de sua pesquisa, realizada cinco anos após a resolução, mostraram que a quantidade de usinas de reciclagem cresceu, mesmo utilizando na época um sistema simples de reaproveitamento.

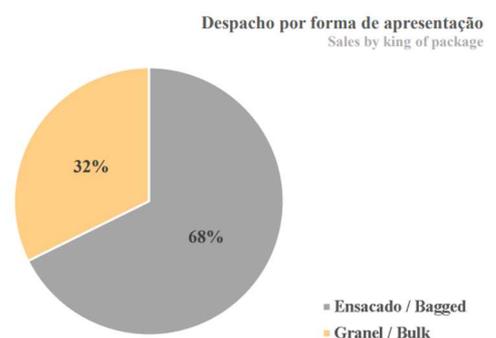
### 2.3 PAPEL KRAFT

Segundo Andrade (2017), o concreto é o material mais produzido no mundo e tem o cimento como seu principal componente. O Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), apresentou em seu relatório anual de 2019 que o Brasil, em 2018, no ranking mundial dos maiores produtores de cimento do mundo, ficou em décimo segundo lugar com produção de 53,6 milhões de toneladas, em 2019 essa produção subiu para 56,61 milhões de toneladas de cimento. Ainda no mesmo relatório da SNIC (2019), foi despachado 54.800 toneladas de cimento em 2019, desse total, 68% em forma ensacada como é representado na Figura 1.

**Figura 1 - Dados do relatório anual do SNIC, referente ao ano de 2019 para cimento despachado em forma ensacada (SNIC)**

A) Por forma de apresentação by king of package			
Região / Region	Ensacado / Bagged	Granel / Bulk	Total
NORTE / North	1.910	250	2.160
NORDESTE / Northeast	7.686	1.541	9.227
CENTRO-OESTE / Middlewest	4.755	1.310	6.065
SULDESTE / Southeast	14.246	8.239	22.485
SUL / South	4.564	4.501	9.065
Sub-total	33.161	15.841	49.002
Ajustes* / Adjustments*			5.798
<b>Total</b>			<b>54.800</b>

(\*) Dados estimados. Vide página 23 deste relatório / Estimated data. See page 23 of this report.



**Fonte:** SNIC, 2019.

De acordo com Foelkel (2014), o material utilizado para a embalagem do cimento é conhecido como papel Kraft, mais especificamente o tipo Kraft III, segundo a NBR 15483

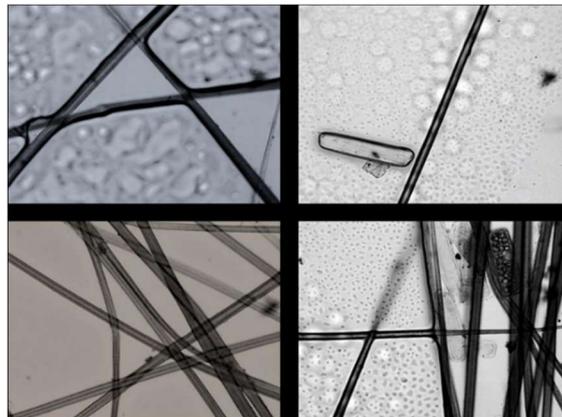
(ABNT, 2009). O papel é considerado como um aglomerado de fibras celulósicas que possuem tamanhos diferentes, entrelaçam entre si e que são prensadas, o que oferece uma superfície adequada para colar, imprimir e escrever. A qualidade é uma consequência da natureza das fibras, que varia conforme a origem da qual foi extraído as fibras do vegetal (ROBERT, 2007).

A confecção das embalagens de papel Kraft permite o seu preenchimento com o material ainda quente, garantindo também a qualidade do produto, podem ser estampadas informações a respeito da composição do produto, cuidados e manuseio, dicas de armazenagem entre outras informações (MARCONDES, 2007).

O papel Kraft é produzido através de uma mistura de fibras longas e curtas provenientes da celulose, que geralmente não passam pelo processo de branqueamento, que a deixa com coloração parda natural. Sua utilização se dá pelo fato de possuir, naturalmente, excelentes propriedades físicas e mecânicas, ou seja, é resistente, flexível e macio (FOELKEL, 2014).

Para a fabricação do papel Kraft, o Brasil possui fabricantes que utilizam principalmente as fibras do bambu, da espécie *Bambusa Vulgaris*. O bambu produz celulose de fibras longas que se entrelaçam como se observa na Figura 2, tornando-as excelentes nas características físicas, a sua utilização possui inúmeros benefícios, principalmente na produção de cartões de alta resistência final e com menor índice de rasgo. Por ter custos baixos, rapidez de crescimento e baixo consumo de energia no processo de produção das fibras, torna-se a mais utilizada no segmento para embalagem de cimento, cal, argamassa e gesso (MAGALHÃES, 2008).

**Figura 2 - Fotografia das fibras de *Bambusa Vulgaris***



**Fonte:** GUIMARÃES *et al*, 2010.

Buson (2009) afirma que o papel Kraft não demora muito para se decompor, esse processo leva cerca de três a seis meses, o problema está no resto de cimento que fica dentro dos sacos, que demora milhares de anos para se decompor o que leva a uma possível contaminação do lençol freático e do solo. De acordo com Alves (2016), buscar meios para reciclagem do papel Kraft após a utilização do cimento é um meio de se ajudar e preservar o meio ambiente, os papéis mais recomendados para reciclagem são os que apresentam uma boa resistência ao rasgo, desta maneira o Kraft é ideal para ser reciclado.

Segundo a Associação Brasileira de Celulose e Papel – BRACELPA (2009), anualmente o Brasil produz cerca de 300 mil toneladas de papel Kraft natural para sacos multifoliados. Segundo Taves *et al.* (2001), a baixa taxa de recuperação dos sacos multifoliados está ligada a contaminação, oriunda dos produtos ensacados, tais como o cimento, produtos químicos em geral, que exigem procedimentos e cuidados adicionais no processo de reciclagem.

Por ser um material que após sua utilização é descartado em quase sua totalidade sem ser reciclado, Alves (2016) fala que, escolher um tipo adequado de reciclagem para a utilização do resíduo é muito importante, a obtenção de polpa de celulose através da trituração do papel Kraft não gera novos resíduos ou contaminação, já que é necessário um procedimento de limpeza dos sacos de cimento e decantação da água no processo.

### **2.3.1 Obtenção da Celulose**

A base para a fabricação do papel é a celulose, consiste em um polissacarídeo (semelhante ao açúcar) que compõe as paredes celulares das fibras das plantas, juntamente com a lignina, resinas e os minerais (compostos inorgânicos), a celulose corresponde a cerca de 50% dos compostos que constitui a madeira. Suas moléculas agrupam pela lignina, formando feixes de fibras que constitui as células vegetais que compõe as fibras presentes na madeira (CMPC, 2015).

De acordo com Illston (1994), as fibras vegetais basicamente são compostas de celulose, hemicelulose e lignina. Essas fibras são constituídas por uma estrutura de várias fibras elementares ligadas entre si por um material de cimentação constituído de lignina na sua maioria, gerando união das microfibras e hemicelulose (JASTRZEBSKI, 1987).

As fibras de celulose, também conhecidas de lignocelulósicas, recebem uma atenção considerável por serem usadas no desenvolvimento de diversos produtos como, por exemplo, papéis, tecidos, papelão, filtros e reforço em compósitos. Apresenta inúmeras vantagens,

como: disponibilidade, baixo custo e pontos favoráveis em questões ambientais (HORTAL, 2007).

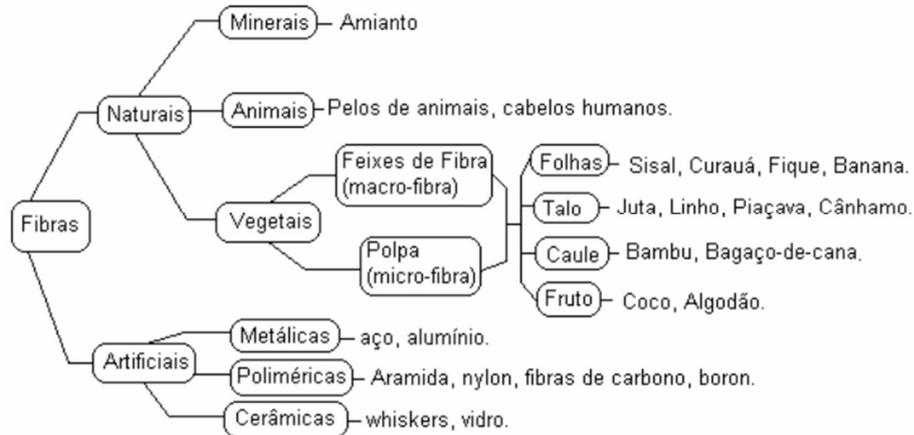
O processo de obtenção de polpa de madeira, sendo genericamente conhecida como polpação, que corresponde o processo de obtenção de celulose, envolve a separação das fibras da madeira por meio da utilização de energia mecânica, térmica ou química ou também a combinação das três (ALVES, 2016). Para o papel Kraft utiliza-se o processo de polpação química, este processo é chamado de sulfato, também conhecido como processo Kraft. As polpas são obtidas por meio de processos que aliam métodos químicos e termomecânicos (SAVASTANO, 2000).

Ao serem recebidas nas fábricas de celulose, as toras de madeiras são descascadas, lavadas e picadas em forma de cavacos, em seguida são levadas por esteiras aos digestores, passando por um processo de cozimento com a solução alcalina, também chamada de licor branco (sulfeto e hidróxido de sódio) que tem uma função de decompor os componentes não-celulósicos que não interessam ao produto final, sendo principalmente a lignina. Esse processo de cozimento é designado como processo Kraft, que reduz os danos às fibras da celulose, preservando sua resistência e uniformidade. A pasta gerada desse processo é empregada na produção de papeis cuja resistência é o principal fator, como sacolas de supermercados, sacos de cimentos, entre outros (O PROCESSO, 2015).

### **2.3.2 Fibra Vegetal**

As fibras vegetais são de origem natural, essas fibras são de natureza celulósica e têm como exemplo: sisal, bambu, coco e bananeira, conforme representado na Figura 3. As fibras podem ser usadas para diversas finalidades, podem ser de origem natural que são encontradas na natureza, de origem vegetal (exemplo das fibras de madeira e bambu), minerais e animais, também podendo ser de origem artificial (feitas pelo homem) como as fibras metálicas, poliméricas e cerâmicas (ALVES, 2016).

**Figura 3 - Classificação das fibras vegetais**



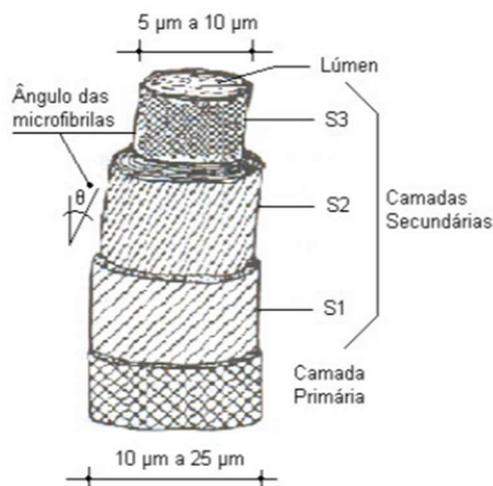
Fonte: PICANÇO, 2005.

As fibras podem ser usadas para diversas finalidades, podem ser de origem natural que são encontradas na natureza, podendo ser vegetais (exemplo das fibras de madeira e bambu), minerais e animais, também podem ser de origem artificial (feitas pelo homem) como as fibras metálicas, poliméricas e cerâmicas (ALVES, 2016).

As fibras são formadas por células individuais (microfibras) unidas umas às outras por meio da lamela, cada microfibrila é constituída por um número de camadas. Constitui de fibras que são compostas por um grupo de moléculas de celulose. Essas fibras se encontram em cada camada sob a forma de espiral apresentando ângulos variáveis de inclinação, tendo influência sobre o desempenho mecânico da fibra (PICANÇO, 2005).

A Figura 4 apresenta esquematizado uma microfibrila, apresentando suas camadas, ângulos de inclinação, etc.

**Figura 4 - Esquema de uma fibra vegetal com dimensões aproximadas**



Fonte: PICANÇO, 2005.

Segundo Alves (2016), as fibras vegetais são uma alternativa barata, sendo utilizadas para diversos produtos na construção civil, a aplicação dessas fibras em construções é mais antiga do que se imagina. Há milhares de anos atrás, os Persas utilizavam as fibras associando-as ao solo à construção de habitações, o que gerava paredes com bom isolamento térmico e boa aparência (GHAVAMI *et al*, 1991).

Como mencionado anteriormente, para fabricação de papel Kraft no Brasil, utiliza-se principalmente as fibras do bambu. Alves (2016) cita que, a obtenção das fibras do bambu é semelhante ao aplicado em madeira para fabricação de papel, sendo esse processo conhecido como polpação Kraft, que tem como vantagem o seu baixo custo no processo de produção das fibras, boa resistência à tração e um rápido crescimento.

Alves (2009) ainda menciona que pesquisas realizadas com o emprego das fibras naturais como reforço em matrizes cimentícias, vêm crescendo nos últimos anos, crescimento motivado pela ampla quantidade e variedade de fibras disponíveis.

Buson (2009) também afirma que a aplicação do uso das fibras tem sido bastante difundida atualmente, a implementação de pesquisas em exposição no Brasil e no mundo, vem visando o desenvolvimento de mais pesquisas para implementação de componentes com a aplicação das fibras.

Dentre as diversas pesquisas realizadas, ressalta a realizada por Neves (2003), em sua pesquisa, empregou a reciclagem de papel para produção de argamassa celulósica. Seu estudo concluiu que, modificações no preparo da argamassa celulósica, principalmente com uma redução da quantidade de água na mistura ou, então, remoção do emprego da água no processo de adensamento, pode suceder um material mais compacto e mais resistente a ações futura de micro-organismos e da água prolongando, assim, a vida útil do componente (BUSON, 2009).

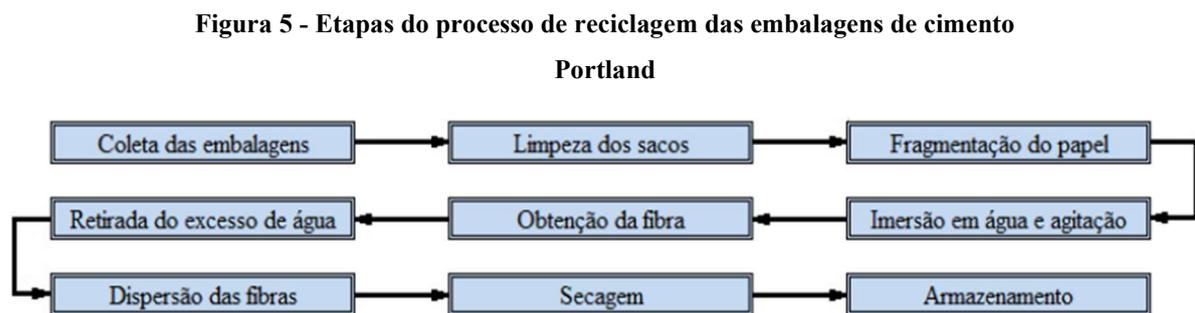
De acordo com Andrade (2017), existem diversos estudos utilizando as fibras do papel Kraft na fabricação de produtos da construção civil com resultados satisfatórios. Como exemplo, tem-se o estudo sobre a influência da adição de fibras de celulose (papel Kraft) nas características dos blocos de concreto não estruturais (ALVES, 2016), produção de painéis com placas cimentícias para vedação usados como divisórias (SILVA, 2013), uso no solo-cimento como fibra para reforço das propriedades mecânicas (BUSON, 2009).

### 2.3.3 Reciclagem do Papel Kraft

Segundo a Associação Mineira de Defesa do Ambiente (AMDA), quase todo tipo de papel pode ser reciclado, processo esse que gera uma economia de recursos naturais, redução considerável do consumo de energia e água, comparando-se com os processos de fabricação de papel a partir de matéria-prima virgem (AMDA, 2015).

Todo método de reciclagem utiliza-se de energia para a transformação do produto, de forma a torna-lo adequado a novas cadeias de produção. Tal energia dependerá do tipo de processo utilizado na transformação do resíduo. Além disso, nem sempre só a energia será suficiente para a reciclagem, sendo necessária a utilização de matéria-prima para modificá-lo física e/ou quimicamente (ÂNGULO *et al.*, 2001).

Para a reciclagem do papel Kraft a fim de obter as fibras de celulose, necessita-se seguir as seguintes etapas representadas pela Figura 5.



Fonte: ALVES, 2016.

Após a obtenção das embalagens, inicia-se a primeira etapa com a limpeza dos sacos, por serem normalmente descartados com restos de cimento no fundo e nas bordas, requer a limpeza até deixar a embalagem limpa. A segunda etapa após a limpeza será o processo de fragmentação do papel a fim de facilitar a etapa da transformação dos sacos de cimento em polpa de celulose, processo esse que é simples e fácil, requer basicamente a imersão dos sacos em água até a separação das fibras do papel, não sendo necessário adição de produtos químicos (BUSON, 2009).

Para a dispersão das fibras e obtenção da polpa celulósica é utilizado um liquidificador industrial, que tritura e dispersa as fibras gerando uma polpa de celulose com aspecto macroscópico representado pela Figura 6 (BUSON, 2009).

**Figura 6 – Fibras do papel Kraft após a trituração**



Fonte: ALVES, (2016).

Ainda segundo Buson (2009), o processo de obtenção das fibras consome muita água, sendo necessário aproximadamente 3 litros de água para cada saco de cimento. Pensando na questão ambiental, para a reciclagem de grande quantidade de papel Kraft é recomendável a reutilização da água o maior número de vezes possível.

Após a transformação do papel Kraft em polpa de celulose é necessário fazer a retirada do excesso de água das fibras, para isso pode ser utilizado fornos, centrífuga de eixo vertical, etc (ALVES, 2016).

## 2.4 CONCRETO

Santos (2008) traz que no início do século XX foi introduzido no Brasil o concreto, como produto patenteado e distribuído por empresas estrangeiras. Logo após as instalações das cimenteiras por volta de 1920, deu-se início a difusão da tecnologia desse material. Em 1940 o concreto já estava regulado pelas atribuições profissionais do sistema CONFEA-CREAs<sup>1</sup> e já estava inserido nas matrizes escolares de engenharia e arquitetura.

Helene (1986) definiu o concreto como sendo duro, condensado, material para construção feito com a mistura de cimento, areia, pedra britada e água. Outra definição é citada por Andrade (2016) que, em 2004, surge a definição de concreto como material de construção constituído por cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água e eventualmente adições e aditivos químicos. Esses aditivos são inseridos com finalidade de melhorar,

modificar, salientar ou inibir determinadas reações, propriedades e características do concreto, no seu estado fresco ou endurecido.

Battagin (2009) também afirma que o concreto é uma mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e graúdos, com ou sem a incorporação de componentes menores que seria os aditivos químicos e outras adições, que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento. O aglomerante é formado pela mistura do cimento com a água, enquanto os agregados podem ser quaisquer materiais granulares como areia, pedregulho, seixos, rocha britada e resíduos de construção ou demolição, a classificação de agregados graúdos é quando for maior que 4,75mm, e quando menor é tido como miúdo.

Pedroso (2009) estima que são consumidas anualmente cerca de 11 bilhões de toneladas de concreto o que, segundo a *Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado* (FIHP), é cerca de 1,9 toneladas de concreto por habitante consumido por ano, valor que fica atrás somente quando comparado ao consumo de água. No Brasil, as centrais dosadoras de concreto produzem e mandam pro mercado cerca de 30 milhões de metros cúbicos.

Há duas propriedades do concreto que o destacam, são elas: a sua resistência a água, que diferente do aço e da madeira o concreto quando exposto a água não sofre deterioração. Provado isso com o uso do concreto em estruturas de transporte e armazenamento de água, e sua plasticidade que possibilita novas forma de uso do concreto, como exemplo tem-se as obras arquitetônicas de Niemeyer (PEDROSO, 2009)

Em termos de sustentabilidade, o concreto armado consome muito menos energia que o aço, o vidro e também emite menos gases e partículas poluentes de acordo com Battagin (2009).

Lima *et.al.* (2014) define as três classes básicas de classificação do concreto por meio de dosagens da mistura, também conhecidos como traços, são os concretos de densidade normal, leve e pesado. Os concretos também são classificados com relação à sua resistência em: concretos de baixa resistência que têm menos de 20 MPa, o normal gira em torno de 20 a 50 MPa e o de alta resistência que é 50 MPa.

#### **2.4.1 Concreto com resíduos**

A busca para se dar uma destinação mais correta para os resíduos sólidos vem propiciando o surgimento de pesquisas e estudos quanto à possibilidade de reutilizar tais resíduos como um agregado no concreto.

Em uma pesquisa feita por Vieira *et al* (2004), que traz um comparativo entre concretos fabricados com agregados de jazidas naturais e com concretos reciclados de usinas, mostra que os agregados oriundos de reciclagem melhoraram as propriedades do concreto.

Levy (2001) faz um comparativo em um teste de durabilidade de resistência a intempéries, entre um concreto com agregados convencionais e um concreto traçado com resíduos de alvenaria. A pesquisa mostra que a substituição em um concreto com 30 MPa de resistência, quando chega a 50% de substituição dos agregados por miúdos de alvenaria já se torna aceitável, assim como o fator a/c (água/cimento) aumentou de 0,68 para 0,73.

De acordo com Francisco (2017), no Brasil também já foram implantadas algumas das técnicas de reutilização de resíduos nos processos de obras públicas, como na cidade de São Paulo, os RCCs são utilizados na substituição dos serviços de pavimentação de ruas. Em Belo Horizonte esses resíduos são utilizados na fabricação de base e sub-base para pavimentação e fabricação de argamassas.

O entulho também é visto como um grande criador de resíduos para reaproveitamento. Lima (2013) diz que o entulho é capaz de apresentar um grande potencial de uso com os restos que apresenta de concreto e argamassas diversas, para a fabricação de argamassas em Salvador.

Botosso *et al.* (2019) traz dados dos seus estudos referentes a resultados das propriedades mecânicas e morfológicas do concreto com substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de cerâmica vermelha. Nos resultados obtidos nota-se uma melhoria considerável de 44% nas propriedades de compressão e 28% de tração por compressão diametral na substituição parcial da areia pelo resíduo de cerâmica. Visto também a melhoria na viabilidade econômica e ambiental por se tratar de um resíduo que é descartado em outras obras.

Em seus estudos, Buttler (2003) obtêm resultados da mistura de concreto com agregados graúdos reciclados de concreto. Sendo eles o processo de cura úmida interna dos concretos reciclados fazendo com que melhorasse as propriedades da zona de transição através da hidratação de partículas remanescentes de cimento. Nas propriedades mecânicas do concreto endurecido como resistência a compressão, tração e módulo de elasticidade houve melhores resultados também.

### 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

A pesquisa busca avaliar a consistência do concreto, no estado fresco, e a resistência à compressão axial, no estado endurecido, do concreto com adição de papel Kraft. Este experimento foi dividido em três fases, sendo elas: (1) escolha e caracterização de materiais; (2) moldagem dos corpos de prova; (3) ensaios de caracterização do concreto.

#### 3.1 ESCOLHA E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

##### 3.1.1 Seleção dos materiais

Serão empregues os seguintes materiais: agregado miúdo (areia média fina), agregado graúdo (brita 0), cimento Portland CP II Z 32, papel Kraft (saco de cimento) e água.

##### 3.1.2 Caracterização e quantificação dos materiais

Para a caracterização dos materiais, foram executadas as seguintes análises laboratoriais:

**Agregado miúdo:** composição granulométrica - NBR NM 248 (ABNT, 2009), massa específica - NBR 16916 (ABNT, 2021), massa unitária - NBR 16972 (ABNT, 2021).

**Agregado graúdo:** composição granulométrica - NBR NM 248 (ABNT, 2009), massa específica - NBR 16917 (ABNT, 2021), massa unitária - NBR 16972 (ABNT, 2021).

**Fibra de Papel Kraft:** composição granulométrica - NBR NM 248 (ABNT, 2009).

A composição granulométrica é utilizada para classificar as partículas de uma determinada amostra pelos seus respectivos tamanhos e medir suas frações correspondentes a cada tamanho (CLUBE DO CONCRETO, 2013).

A massa específica é a razão entre a massa e o volume de uma substância, já a massa unitária é a razão entre uma massa de agregado colocado em um recipiente e o volume deste recipiente.

##### 3.1.2.1 Aglomerante mineral

O aglomerante mineral empregue no programa experimental, foi o CP II-Z-32 – Cimento Portland composto com pozolana. A norma brasileira que discorre sobre este tipo de cimento é a NBR 11578 (ABNT, 1997). Encontra-se várias perspectivas as quais pode-se

aplicar o cimento Portland. Visto que, as propriedades contidas nele, conseguem responder desde estruturas em concreto armado até argamassas de assentamento e revestimento, concreto massa e concreto para pavimentos. O CP II-Z-32 tem, em sua composição, de 6 a 14% de pozolana e até 10% de material carbonático.

### 3.1.2.2 Resíduo da fibra de papel Kraft

O papel Kraft é composto de pasta celulósica de fibras longas desenvolvidas por uma série de processos químicos (BRACELPA, 2011). O resíduo de papel Kraft aproveitado, é oriundo de uma obra residencial que ocorre na cidade de Anápolis-GO. O processo de reaproveitamento do papel Kraft para extração das fibras e, conseqüentemente, seu manuseio, segue as respectivas etapas:

**Limpeza dos invólucros:** foram utilizados 18 sacos de cimento e, assim como em diversas obras, ficam resíduos envoltos e no fundo das embalagens. Com isso, é necessário que seja feita a limpeza dos sacos de cimento, pensando que as embalagens podem ter sido expostas a variações de temperatura e, também, ter entrado em contato com a água, o que proporciona a hidratação do cimento. A higienização foi feita após o processo de retalhamento dos sacos, com pedaços retalhados numa dimensão próxima à 20cm x 20cm, os quais foram levados ao laboratório de materiais de construção civil da UniEVANGÉLICA - Anápolis. Após isso, foram colocados em um tambor com água para auxiliar na disseminação da fibra como representado na Figura 7, onde passaram imersos por 72 horas.

**Figura 7 – Preparação para obtenção das fibras**



Fonte: AUTORES, 2022.

**Conversão dos sacos de cimento em polpa de celulose:** após o processo da imersão, foi retirado todo excedente de água. Com a utilização de um liquidificador de alta potência representado na Figura 8, o papel foi triturado para disseminação das fibras. Esse método favoreceu a integração da fibra ao concreto e, também, na obtenção de uma mistura consistente.

**Figura 8 – Liquidificador de alta potência**



**Fonte:** AUTORES, 2022.

Após o processo de disseminação, as fibras foram colocadas em uma forma, como representado na Figura 9, e levadas ao forno em uma temperatura de 40°C para que fosse feito o processo de secagem. Esse processo durou cerca de 48 horas, fazendo com que as fibras ficassem prontas para uso.

**Figura 9 – Fibras do papel Kraft**

**Fonte:** AUTORES, 2022.

Após a remoção do forno, o papel foi definido granulometricamente passando-se nas peneiras, até ficar apenas na granulometria de 4,75 mm. Em seguida, foi determinado a dimensão máxima característica (DMC) e o módulo de finura, de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), onde o material foi classificado como grosso, conforme apresentado na Tabela 1

**Tabela 1 – Caracterização das fibras de papel Kraft**

DETERMINAÇÕES	MÉTODO DE ENSAIO	RESULTADOS OBTIDOS			
		Peneiras Nº Abertura	Massa Retida (g)	% Retida	% Retida acumulada
Composição Granulométrica	NBR NM 248 (ABNT,2003)	3/8' 9,5 mm	0	0	0
		4 4,75 mm	50	100	100
		8 2,36 mm	0	0	100
		16 1,18 mm	0	0	100
		30 0,6 mm	0	0	100
		50 0,3 mm	0	0	100
		100 0,15 mm	0	0	100
		Fundo (g)	0	0	100
		TOTAL	50	100	600
		Massa Inicial (g)	50		
MF	NBR NM 248 (ABNT,2003)	6			
DMC	NBR NM 248 (ABNT,2003)	9,5 mm			

**Fonte:** AUTORES, 2022.

### 3.1.2.3 Areia

A areia utilizada na execução do concreto é de natureza Quartzosa. Após serem feitos os ensaios de composição granulométrica, módulo de finura, dimensão máxima característica (DMC), massa específica e massa unitária de acordo com as NBR NM 248 (ABNT,2003), NBR 16916 (ABNT,2021) e NBR 16972 (ABNT,2021) respectivamente, a areia foi definida como média fina. Todos os ensaios foram feitos no laboratório de materiais de construção civil da UniEVANGÉLICA - Anápolis e os resultados estão representados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Caracterização do agregado miúdo - areia**

DETERMINAÇÕES	MÉTODO DE ENSAIO	RESULTADOS OBTIDOS			
		Peneiras Nº Abertura	Massa Retida (g)	% Retida	% Retida acumulada
Composição Granulométrica	NBR NM 248 (ABNT,2003)	4 4,75 mm	0,616	0,22	0,2
		8 2,36 mm	24,55	8,78	9
		16 1,18 mm	61,119	21,87	31
		30 0,6 mm	85,645	30,64	62
		50 0,3 mm	69,377	24,82	86
		100 0,15 mm	29,355	10,5	997
		Fundo (g)	8,822	3,16	100
		TOTAL	279,48	99,99	
		Massa Inicial (g)		300	
		MF - Módulo de Finura	NBR NM 248 (ABNT,2003)	2,85	
DMC - Dimensão Máxima Característica	NBR NM 248 (ABNT,2003)	4,75 mm			
ME - Massa Específica	NBR 16916 (ABNT,2021)	2,2 g/cm <sup>3</sup>			
MU - Massa Unitária	NBR 16972 (ABNT,2021)	1,32 g/cm <sup>3</sup>			

Fonte: AUTORES, 2022.

### 3.1.2.4 Brita

A brita utilizada na execução do concreto é de natureza Quartzosa. Após serem feitos os ensaios de composição granulométrica, módulo de finura, dimensão máxima característica (DMC), massa específica e massa unitária de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o material foi definido como brita 0 (zero). Todos os ensaios foram feitos

no laboratório de materiais de construção civil da UniEVANGÉLICA - Anápolis e os resultados estão representados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Caracterização do agregado graúdo - brita**

DETERMINAÇÕES	MÉTODO DE ENSAIO	RESULTADOS OBTIDOS			
		Peneiras Nº Abertura	Massa Retida (g)	% Retida	% Retida acumulada
Composição Granulométrica	NBR NM 53 (ABNT,2009)	25 mm	0	0	0
		3/5" 19 mm	0	0	0
		1/2" 12,5 mm	5,6	0,28	0,3
		3/8" 9,5 mm	345,2	17,34	18
		4 4,75 mm	1520,9	76,42	94
		8 2,36 mm	118,6	5,96	100
		16 1,18 mm	0	0	100
		30 0,6 mm	0	0	100
		50 0,3 mm	0	0	100
		100 0,15 mm	0	0	100
		Fundo (g)	0	0	100
		TOTAL	1990,3	100	
		Massa Inicial (g)	2000		
		MF - Módulo de Finura	NBR NM 248 (ABNT,2003)	6,12	
DMC - Dimensão Máxima Característica	NBR NM 248 (ABNT,2003)	12,5 mm			
ME - Massa Específica	NBR 16917 (ABNT,2021)	2,77 g/cm <sup>3</sup>			
MU - Massa Unitária	NBR 16972 (ABNT,2021)	1,27 g/cm <sup>3</sup>			

Fonte: AUTORES 2022.

### 3.2 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Para a moldagem dos corpos de prova é necessário que se defina o traço, ou seja, a quantidade dos materiais que serão utilizados. Lembrando que, a ordenação no que se refere à quantidade de cada material utilizado influi muito para que os erros do traço não interfiram significativamente na resistência do concreto.

Os corpos de prova são peças fundamentais para a determinação da resistência à compressão axial do concreto e sua moldagem segue as especificações da NBR 5738 (ABNT, 2015).

### 3.2.1 Dosagem do concreto

A dosagem do traço referência foi calculado pelo método da Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP, com resistência sendo estimada de  $F_{ck} = 25$  MPa aos 28 dias. O traço utilizado está representado na Tabela 4.

**Tabela 4 – Traço utilizado para fabricação do concreto referência**

Traço unitário em massa (Kg)	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita 0 (kg)	Água (kg)
1: 1,32: 1,26: 0,47	8,65	11,4	10,95	4,1

Fonte: AUTORES, 2022.

Para a produção dos corpos de prova foi utilizados quatro traços, sendo o primeiro sem adição das fibras de papel Kraft, utilizado como referência de comparação com os que tiveram adição das fibras. Os demais traços possuíram teor de 0,5%, 2% e 5%, sendo substituído em equivalência da massa unitária do agregado miúdo (areia) pelas fibras de papel Kraft, os valores referentes são apresentados na Tabela 5. Cada traço foi calculado para produzir a quantidade de 9 corpos de prova de 10x20cm, sendo 3 corpos de prova para romper com 7, 21 e 28 dias.

**Tabela 5 – Traços utilizados para moldagem dos corpos de prova**

Traços	Traço em massa			
	Para 8,65 kg de cimento			
	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)	Papel Kraft (kg)
0%	11,4	10,95	4,1	0
0,50%	11,35	10,95	4,1	0,057
2%	11,2	10,95	4,1	0,23
5%	10,85	10,95	4,1	0,57

Fonte: AUTORES, 2022.

### 3.2.2 Moldagem dos corpos de prova

Após obtido os valores dos traços a serem usados de cada material, foram inseridos na betoneira (equipamento utilizado para o preparo do concreto) o cimento, areia, brita e água com seus respectivos traços para a produção dos corpos de prova, inicialmente sem adição das fibras do papel Kraft, a fim de obter o concreto de referência, no qual, será utilizado para comparação com os demais traços com adição das fibras. A moldagem dos demais corpos de

prova com adição das fibras com teor de 0,5%, 2% e 5%, substituindo o agregado miúdo (areia), seguiu os mesmos critérios utilizados na produção do concreto de referência.

Durante a produção do concreto com teor de 5% de fibras de papel Kraft, observou-se que, houve uma rápida absorção de água pelas fibras na mistura, não permitindo que os materiais ficassem homogêneos, houve então um acréscimo de 1 kg de cimento e 2,25 kg de água até que a mistura se mostrasse homogênea.

A metodologia utilizada para o adensamento dos corpos de prova foi o adensamento por compactação, com hastes de aço, cilíndricas, de 16 mm de diâmetro, foram realizados corpos de provas de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, conforme as especificações da NBR 5738 (ABNT, 2015), para serem definido sua resistência a compressão axial em diferentes idades, sendo elas com 7, 21 e 28 dias. A Figura 10 representa os corpos de provas já prontos.

**Figura 10 – Corpos de prova moldados**



**Fonte:** AUTORES, 2022.

Finalizada a moldagem dos corpos de prova, os mesmos permaneceram armazenados em um local fechado durante um período de 24 h até sua desforma, após a desforma dos corpos de prova pode-se observar que, o adensamento realizado nos corpos de prova com teor de 2% e 5%, mesmo seguindo todas as especificações da norma, deixou espaços vazios bastante visíveis, como pode-se observar pela Figura 11. Uma causa seria a perda da trabalhabilidade do concreto conforme o aumento das proporções das fibras no processo, o que dificulta o preenchimento dos vazios. Posteriormente, feito a desforma dos corpos de

prova, os mesmos são levados até uma câmara úmida, onde permanecem armazenados sofrendo um processo de cura até os respectivos dias dos ensaios de rompimento. Os corpos de prova foram fabricados e moldados no laboratório de materiais de construção civil da UniEVANGÉLICA - Anápolis-GO, seguindo todas as especificações da NBR 5738 (ABNT, 2015) - Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto.

**Figura 11 – Corpos de prova com teor de 2% e 5% respectivamente**



**Fonte:** AUTORES, 2022.

### 3.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO

Os ensaios de caracterização do concreto foram realizados no estado fresco e estado endurecido, no laboratório de materiais de construção civil da UniEVANGÉLICA – Anápolis-GO. O ensaio realizado no estado fresco foi o ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, usualmente chamado de *Slump test*, no estado endurecido foi realizado o ensaio de resistência a compressão axial.

#### 3.3.1 *Slump test*

O ensaio de *Slump test* foi realizado seguindo as especificações da norma NBR 16889 (ABNT, 2020). os materiais usados para realizar o ensaio, consiste em: molde, haste de adensamento, placa de base, régua ou trena metálica e uma concha de seção U. O procedimento consiste em emudecer o molde e a placa de base, em seguida colocar o molde sobre a placa de base. Durante o preenchimento do molde com o concreto o operador deve firmar com os pés as atelhas dos moldes para evitar com que o molde se movimente. O preenchimento do molde deve ser dividido em 3 (três) camadas com quantidades iguais, em

cada camada deve ser feito o adensamento com a haste, realizando 25 golpes em cada uma delas, distribuindo uniformemente os golpes sobre a seção da camada. Após o preenchimento das 3 camadas, o molde deve ser retirado verticalmente, sem submeter o concreto a movimentos de torção lateral, a retirada deve ser feita em 4 segundos a 6 segundos. Imediatamente após a retirada deve ser medido o abatimento, que é determinado pela diferença entre a altura do molde e a altura da massa de concreto, como demonstrado na Figura 12.

**Figura 12 – Ensaio de *slump test* teor 0,5%**



**Fonte:** AUTORES, 2022.

### **3.3.2 Resistência a compressão axial**

O ensaio de determinação da resistência a compressão foi realizado conforme a NBR 5739 (ABNT, 2018) – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Para a realização do ensaio foi utilizada uma prensa universal, representada pela Figura 13, com capacidade de carga de 1000 KN, disponível no laboratório da universidade.

**Figura 13 – Prensa universal**

**Fonte:** AUTORES, 2022.

Os corpos de prova são colocados verticalmente sobre o prato inferior da prensa, como demonstrado na Figura 13, fazendo com que seu eixo coincida com o eixo da prensa, para que, assim, possa ser submetido aos esforços de compressão. Com os corpos de prova já posicionados, o carregamento deve ser aplicado continuamente, com velocidade de carregamento de  $0,45 \pm 0,15$  MPa/s, sendo mantida até que ocorra a queda da força, o que indica a ruptura do corpo de prova.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 CONCRETO NO ESTADO FRESCO

No concreto em estado fresco, foi executado o ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (*Slump test*), seguindo as orientações da NBR 16889 (ABNT, 2020), os resultados obtidos estão representados no Tabela 6.

**Tabela 6 – Resultados do abatimento do tronco de cone**

<b>TRAÇOS</b>	<b>ABATIMENTO (CM)</b>
REFERÊNCIA	11,8
0,5 % DE FIBRA	7,4
2 % DE FIBRA	0
5 % DE FIBRA	0

**Fonte:** AUTORES, 2022.

Pode-se observar que, com a adição das fibras, a trabalhabilidade do concreto diminuiu, nota-se também que quanto maior a proporção de fibras na mistura menos trabalhável se torna. O traço com adição de 0,5% foi o único que apresentou bom resultado dentre os demais, como observado no abatimento com traço de 2% e 5% que não apresentaram variação, ilustrado pela Figura 14 e 15.

**Figura 14 – Slump test traço 2%**



**Fonte:** AUTORES, 2022.

**Figura 15 - Slump test traço 5%**

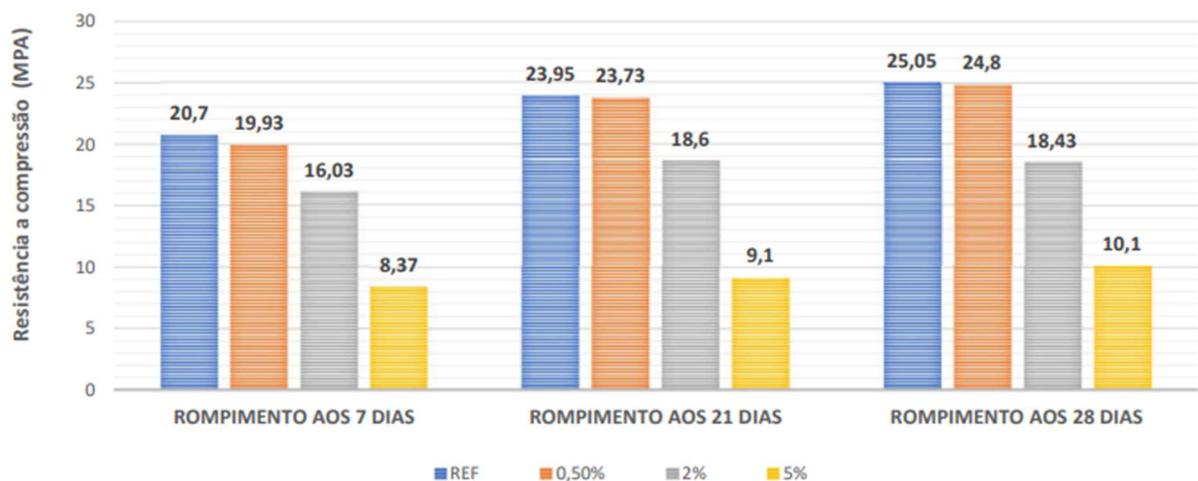


Fonte: AUTORES, 2022.

## 4.2 CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

As resistências dos concretos produzidos com diferentes teores das fibras chegaram aos seguintes resultados, conforme mostrado no Gráfico 1.

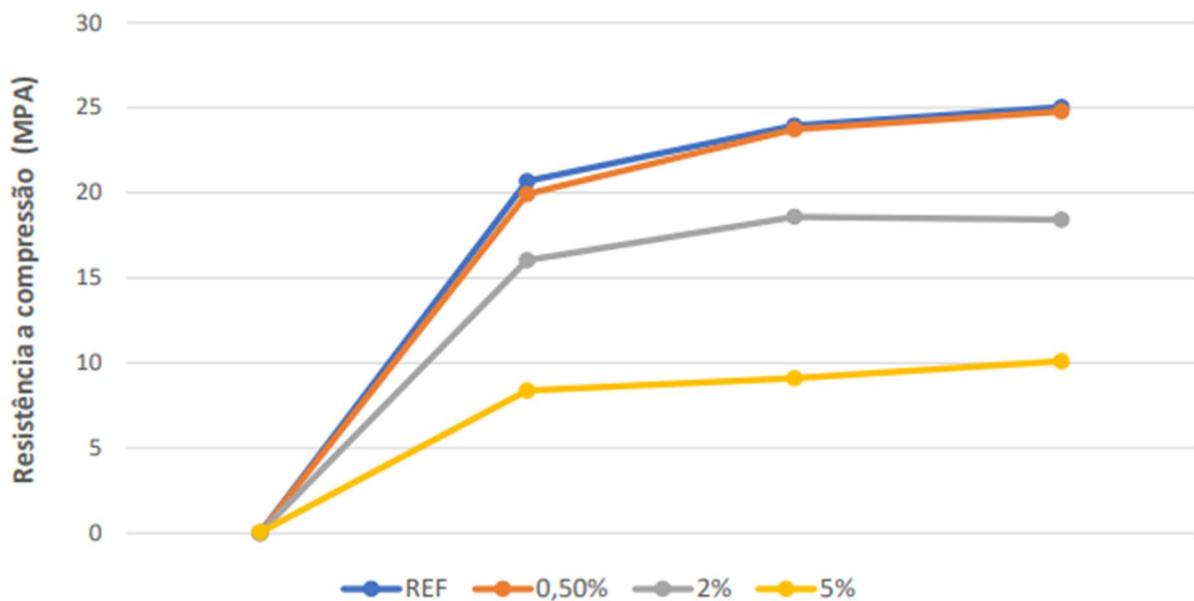
**Gráfico 1 – Resistência mecânica à compressão axial**



Fonte: AUTORES, 2022.

Pode-se observar que apenas o traço com teor de 0,5% de fibras de papel Kraft atendeu o valor do  $f_{ck}$  mínimo de 25 MPa aos 28 dias, porém sendo menor que o valor do traço de referência. Os traços de 2 % e 5% não atingiram o valor mínimo de resistência, sendo o teor de 5% apresentando menor desempenho entre os traços analisados. Observa-se ainda que, o traço de referência e com teor de 0,5%, tiveram um ganho de resistência bem próximos, sendo melhor observado pelo Gráfico 3.

**Gráfico 2 - Resistência mecânica à compressão axial**



**Fonte:** AUTORES, 2022.

Observando a superfície dos CP's (corpos de prova) nota-se que, os CP's de referência que não apresentam adição das fibras do papel Kraft, houve o rompimento da pasta, ou seja, apresenta quebra do corpo de prova conforme mostrado na Figura 16, já os CP's com a adição das fibras de papel Kraft, nota-se que não ocorre o rompimento da pasta, apresentando apenas fissuração. Segundo Ribeiro (2017) isso ocorre devido às fibras do papel Kraft aumentarem a ductibilidade do concreto mantendo, assim, suas partes unidas, conforme ilustrado na Figura 17.

**Figura 16 – Traço referência**



**Fonte:** AUTORES, 2022.

**Figura 17 – Traço com adição de 0,5%**



**Fonte:** AUTORES, 2022.

## 5 CONCLUSÃO

Neste presente trabalho, foi avaliada a possibilidade de produção de concreto com adição de fibras de papel Kraft, provenientes da reciclagem de embalagem de cimento, objetivando dar uma destinação adequada para esse resíduo e analisando se essa adição proporcionaria um melhor desempenho ao concreto. Para realizar essa análise, foram realizados ensaios de consistência do concreto e compressão axial.

Em relação ao ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone (*Slump test*), é possível afirmar que, quanto maior o teor das fibras menor será a trabalhabilidade do concreto, um comportamento já esperado. Ao analisar os resultados, apenas o concreto com teor de 0,5% teve um resultado satisfatório dentro do desvio padrão.

Ao se realizar os ensaios de resistência a compressão axial, apenas o concreto com adição de 0,5% de fibras de papel Kraft apresentou resultado satisfatório, sendo seu desempenho bem próximo ao de referência, tendo sua resistência mínima de 25 Mpa aos 28 dias. Os traços com adição de 2% e 5% obtiveram menor resistência em ambas as idades de 7, 21 e 28 dias.

Ao analisar os CP's, também foi observada a influência das fibras em relação às fissuras e pode-se concluir que, a adição das fibras aumenta a ductibilidade do concreto o que poderia viabilizar sua utilização como exemplo em piso industrial de concreto, o que reduziria o aparecimento de fissuras.

Com os ensaios realizados pode-se concluir que a adição das fibras em seu menor teor de 0,5% pode ser utilizada na produção de concreto, sendo uma destinação adequada e sustentavelmente correta, promovendo uma reutilização do papel Kraft e, também, uma redução no consumo do agregado miúdo, já que há uma redução da utilização da areia com o acréscimo das fibras em valor equivalente de massa. 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.

### 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para as próximas pesquisas são recomendadas:

- Realizar estudos com utilização de teores menores de adição de papel Kraft, sendo sugerido teor de 1% e 1,5%;

- Avaliar se há redução de custos com a adição das fibras substituindo o agregado miúdo (areia);
- Avaliar a utilização de aditivos a fim de obter melhor resistência do concreto com adição das fibras;
- Verificar a viabilidade da utilização concreto com adição de papel Kraft em piso industrial de concreto, devido ao aumento da ductibilidade do concreto.

## REFERÊNCIAS

- ABRELPE (org.). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020**. São Paulo: Abrelpe, 2020. 52 p. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>. Acesso em: 05 set. 2021.
- ALVES, LÍLIAN DE SOUSA. **Influência da adição de fibras de celulose (papel kraft) nas características dos blocos de concreto não estrutural**. Distrito Federal], 2016. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-03A/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/20825>. Arquivo capturado em 15 de outubro. de 2021.
- ANDRADE, Bruno Souza Oliveira. **CONCRETO ARMADO: UM ESTUDO SOBRE O PROCESSO HISTÓRICO, CARACTERÍSTICAS, DURABILIDADE, PROTEÇÃO E RECUPERAÇÃO DE SUAS ESTRUTURAS**. 2016. 72 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/30820/2/VERS%C3%83O%20OFICIAL%20-%20BRUNO%20TCC-REVISADA-%2029.01.16.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2021
- ANDRADE, Danilo Teixeira Mascarenhas de. **USO DO PAPEL KRAFT COMO FIBRA EM PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO**. 2017. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Instituto Federal do Piauí, Teresina, 2017.
- ÂNGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico de concretos**. 2005. 167p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2005.
- ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. Evento: IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil – materiais reciclados e suas aplicações. CT206 – IBRACON. São Paulo, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004 2004**: ABNT NBR 10 004. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004. 71 p. Disponível em: <https://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.221**: Transporte terrestre de produtos perigosos - Resíduos. 6 ed. Rio de Janeiro, 2003. 10 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos - Procedimento. Rio de Janeiro, 1992. 7 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889**: Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018. 9 p.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE DEFESA DO AMBIENTE - AMDA. **Ciclo de vida do papel**. Disponível em: <<http://www.amda.org.br/?string=interna-projetos&cod=31>>. Acesso em: 1 de jan. 2022.

BRACELPA - Associação Brasileira de Celulose e Papel (2011). **Relatório Estatístico 2010/2011**.

BATTAGIN, Arnaldo Forti. **Uma breve história do cimento Portland**. Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo. Disponível em [www.abcp.com.br](http://www.abcp.com.br) [15/07/2003], 2009.

BOTOSSO, Lucas Neves et al. **Propriedades mecânicas e morfológicas do concreto com substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de cerâmica vermelha**. Colloquium Exactarum, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 79-88, mar. 2019. Disponível em: <https://revistas.unoeste.br/index.php/ce/article/view/2562/2763>. Acesso em: 01 abr. 2022.

BUSON, Márcio Albuquerque. **Kraftterra: Desenvolvimento e análise preliminar do desempenho térmico de componetes de terra com a incorporação de fibras de papel kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimento para vedação vertical**. ~ 135p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2009.

BUTTNER, Alexandre Marques. **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto – Influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados**. 2003. 220 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Usp, São Paulo, 2003. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-06082003-172935/publico/buttner.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2022.  
CMPC Celulose Riograndense. **Celulose**. Disponível em: <<http://www.celuloseriograndense.com.br/produtos>>. Acesso em: 12 Janeiro 2021.

CLUBE DO CONCRETO, Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/07/passo-passo-composicao-granulometrica.html>. Acesso em: 18 jun. 2022.

CMPC Celulose Riograndense. **Celulose**. Disponível em: <<http://www.celuloseriograndense.com.br/produtos>>. Acesso em: 20 Fevereiro 2022.

**CONCRETO E CONSTRUÇÕES**. São Paulo: Ibracon, n. 53, 2009. Disponível em: [http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/rev\\_construcao/pdf/Revista\\_Concreto\\_53.pdf](http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf). Acesso em: 19 nov. 2021.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA) (Brasília). Ministério do Meio Ambiente. **Resoluções do CONAMA**. 2012. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/images/conteudo/LivroConama.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2021.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **O que é o CONAMA?** 2018. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/o-que-e-o-conama>. Acesso em: 30 out. 2021.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002). Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação. **Diário Oficial da União**, 17/07/2002.

COUTO, A. B.; COUTO, J. P.; TEIXEIRA, J. C. **Desconstrução – Uma Ferramenta par Sustenta - bilidade da Construção**. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho. Azurém, Portugal, 2006.

DARBY, Jeannie L.; SNIDER, Kile E.; TCHOBANOGLIOUS, George. **Desinfecção ultravioleta para recuperação e reutilização de águas residuais sujeita a normas restritivas**. *Pesquisa do meio aquático*, v. 65, n. 2, pág. 169-180, 1993.

FERNANDES, Antônio Vitor Barbosa; AMORIM, José Ricardo Ribeiro. **CONCRETO SUSTENTÁVEL APLICADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2014. 25 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Tiradentes, Aracaju, 2014. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br>. Acesso em: 15 set. 2021.

FRANCISCO, Marco de Oliveira Vargas. **ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS EM CONCRETOS PARA APLICAÇÕES NÃO ESTRUTURAIS**. 2017. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2017. Disponível em: [https://sites.unifoa.edu.br/portal\\_ensino/mestrado/memat/arquivos/dissertacao/marco-oliveira-vargas-francisco.pdf](https://sites.unifoa.edu.br/portal_ensino/mestrado/memat/arquivos/dissertacao/marco-oliveira-vargas-francisco.pdf). Acesso em: 13 nov. 2021.

FOELKEL, Celso. **Reciclagem de Papéis Contendo Fibras Longas de Pinus**. *Pinusletter*, Porto Alegre, v. 1, n. 41, p.1-26, jan. 2014. Disponível em: <http://www.celso-foelkel.com.br/>. Acesso em: 25 out. 2021.

Geartech Brasil, **PAPEL Kraft: Como é e para que serve**. 2020. Disponível em: <https://geartechbr.com.br/papel-kraft-como-e-feito-e-para-que-serve/>. Acesso em: 05 set. 2021.

GHAVAMI, K., TOLEDO FOLHO, R, D., **Utilização de Fibras Naturais e do Bambu como Materiais de Construção**, Internacional Seminar on Agricultural Buildings, INICAMP-Campinas, Fev. 3-8, 20pp, 1991.

OUVEIA, N. **Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social**. *Ciência & Saúde Coletiva*, São Paulo, 2012, 17(6):1503-1510.

GUIMARÃES JUNIOR, Mario et al. **CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA DA FIBRA DE BAMBU (*Bambusa vulgaris*) VISANDO SUA UTILIZAÇÃO EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS**. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, Araxá-Mg, p. 442-456, dez. 2010. Anual.

C Helene, T Le Doan, L Perrouault, M Chassignol. **Targeted cleavage of polynucleotides by complementary oligonucleotides covalently linked to iron-porphyrins**. *Biochemistry*, v. 25, n. 22, p. 6736-6739, 1986.

HORTAL, J. **Fibras papeleras**. UPC, Barcelona, Spain. 2007. 224p.  
ILLSTON, J. M. **Construction materials: their nature and behaviour**. Chapman & Hall, London, 1994.

JASTRZEBSKI, Z.D. **The nature and properties of engineering materials**. John Wiley & Sons, Inc, New York – EUA. 1987.

LEI Nº 12.305 DE 02 DE AGOSTO DE 2010. **INSTITUI A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS; ALTERA A LEI Nº 9.605, DE 12 DE FEVEREIRO DE 1998; E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS**. Brasília, 03 ago. 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 16 nov. 2021.

LINTZ, Rosa Cristina Cecche et al. **Study of the reuse of construction residues in concrete employed by blocks manufacture**. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 5, n. 2, p. 166-181, 2012.

EITE, M. B. **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

LIMA, Caio Ivson Vasconcelos *et al.* **CONCRETO E SUAS INOVAÇÕES**. 2014. 10 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unit - Centro Universitário Tiradentes, Maceió, 2014. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/download/1285/755/0>. Acesso em: 25 nov. 2021.

LUIZA MOURA CARDOSO. **Tudo sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil**. 2017. Plataforma SIENGE. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/residuos-solidos-da-construcao-civil/>. Acesso em: 05 set. 2021.

MAGALHÃES, Adriana Pellegrini (2008). **Caracterização da cadeia de produção do bambu no Brasil – Abordagem Preliminar**. Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

MARCONDES, Carlos Gustavo. **Embalagem com conteúdo**. Jul. de 2007. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/embalagem-com-conteudo/>. Acesso em: 20 nov 2021.

MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosembach *et al.* **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008**. 2009. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/7183>. Acesso em: 12 nov. 2021.

NEVES, Célia Maria Martins (2003): **Componentes habitacionais de argamassa celulósica e espuma de poliuretano**. In Coletânea Habitar, Volume 4 – Utilização de Resíduos na Construção Habitacional, p. 176-217. ANTAC. Porto Alegre.

**O PROCESSO de Produção de Celulose e do Papel**. Disponível em:

<<http://ri.suzano.com.br/modulos/doc.asp?arquivo=00406020.WAN&doc=ian480.doc&language=ptb>>. Acesso em: 12 jan. 2022.

PEDROSO, Fábio Luís. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem**. 2009. IN.: REVISTA CONCRETO. [online]. Ibracon, ed: 53, Concreto: e Construções, 2009. Disponível na Internet via WWW. URL: [http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/rev\\_construcao/pdf/Revista\\_Concreto\\_53.pdf](http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf). Arquivo capturado em 10 de Janeiro de 2022.

PEREIRA, E.; MEDEIROS, M. H. F. de; LEVY, S. M. **Durabilidade de concretos com agregados reciclados: uma aplicação de análise hierárquica**. Ambiente Construído, v. 12, n. 3, jul./set. 2012, p. 125-126. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/23563>. Acesso em: 16 set. 2021.

PERUCHIN, Bianca; SCHNEIDER, Vânia Elisabete. III-429–**ANÁLISE DAS BASES DE DADOS SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS NO PAÍS PARA A ELABORAÇÃO DOS PLANOS MUNICIPAIS DE GERENCIAMENTO INTEGRADO**.

PICANÇO, M. S. **Compósitos cimentícios reforçados com fibras de curauá**. 2005. 25 f. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

RIBEIRO, Fernanda Barbosa. **ADIÇÃO DE PAPEL KRAFT NO CONCRETO: ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS**. 2017. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2017.

ROBERT, N. T. F. **Produção de embalagem de papel**. Dossiê Técnico, Serviço Brasileiro de respostas técnicas, Rio de Janeiro, 2007.

SANTOS, Roberto Eustaquio dos. **Á armação do concreto no Brasil: história da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia**. 2008. 338 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Ufmg, Minas Gerais, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/FAEC-84KQ4X/1/2000000140.pdf>. Acesso em: 31 mar 2022.

SAVASTANO JÚNIOR, H. **Materiais a base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. 2000. Tese (Doutorado em Docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SCHALCH, Valdir et al. **Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos–Universidade de São Paulo, 2002.

SILVA, Myrtes Amaral Da. **Obtenção e caracterização de compósitos cimentícios reforçados com fibras de papel de embalagens de cimento**. Dissertação (Mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Belo Horizonte, 2013.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (org.). **Relatório Anual**. São Paulo, 2019. 44 p. Disponível em: [http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio\\_anual/rel\\_anual\\_2019.pdf](http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2019.pdf). Acesso em: 05 set. 2021.

TEIXEIRA, José Henrique da Silva. **RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO: concreto reciclável**. 2018. 18 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Uninorte, Manaus, 2018. Disponível em: [https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo\\_concreto.pdf](https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_concreto.pdf). Acesso em: 15 nov. 2021.

VIEIRA, Geilma Lima; DAL MOLIN, Denise Carpena Coutinho. **Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. *Ambiente Construído*, v. 4, n. 4, p. 47-63, 2004.

VG RESÍDUOS (Brasil) (ed.). **Resíduos sólidos: o que são, legislação a respeito e como destinar e tratar corretamente**. 2020. VG Resíduos. Disponível em: <https://www.vgresiduos.com.br/blog/residuos-solidos-o-que-sao-legislacao-a-respeito-e-como-destinar-e-tratar-corretamente/>. Acesso em: 16 nov. 2021.