

UNIEVANGÉLICA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GUSTAVO AUGUSTO SILVA

SUSTENTABILIDADE NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS
NA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE

ANÁPOLIS / GO

2020

GUSTAVO AUGUSTO SILVA

**SUSTENTABILIDADE NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS
NA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE**

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

ORIENTADOR: EDUARDO DOURADO ARGOLO

ANÁPOLIS / GO: 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, GUSTAVO AUGUSTO

Sustentabilidade no tratamento de resíduos na indústria de papel e celulose.

50P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Indústria de papel	2. Celulose
3. Argamassa Sustentável	4. Reaproveitamento de Resíduos
I. ENC/UNI	II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, Gustavo Augusto. Sustentabilidade no tratamento de resíduos na indústria de papel e celulose. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 53p. 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

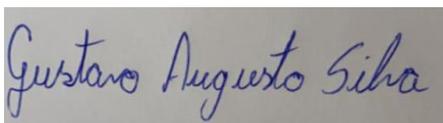
NOME DO AUTOR: Gustavo Augusto Silva

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Sustentabilidade no tratamento de resíduos na indústria de papel e celulose.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2020

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.



Gustavo Augusto Silva

E-mail: gustavo29augusto@gmail.com

GUSTAVO AUGUSTO SILVA

**SUSTENTABILIDADE NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS
NA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE**

**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:

**EDUARDO DOURADO ARGOLO, Mestre
(UniEvangélica) (ORIENTADOR)**

**AGNALDO ANTÔNIO M. TEODORO DA SILVA, Mestre
(UniEvangélica) (EXAMINADOR INTERNO)**

**WANESSA MESQUITA GODOI QUARESMA, Mestre
(UniEvangélica) (EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 03 de Novembro de 2020.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças para buscar ser uma pessoa melhor a cada dia, sem Ele nada somos e nada valem.

Agradeço aos meus pais por sempre me darem apoio e incentivo, por me encorajarem a voar e a crescer, por serem meu alicerce. Aos meus irmãos agradeço por todo companheirismo e parceria, por sempre estarem comigo e me ampararem em momentos difíceis. Minha família é a base de tudo, que me ensinaram a ser grato a Deus e a lutar por meus objetivos.

Agradeço também a cada professor que passou por minha vida acadêmica, cada um contribuiu de forma única para meu crescimento profissional e pessoal.

Muito obrigado!

Gustavo Augusto Silva.

RESUMO

Com surgimento do conceito de Sustentabilidade, houve um aumento na necessidade de inovações na maneira de utilizar os resíduos gerados pelo homem, principalmente os resíduos industriais, de forma que estes não sejam simplesmente descartados gerando cada vez mais poluição ao planeta. Com as preocupações com a preservação ambiental, novas formas de utilização de resíduos vêm sendo exploradas. Este trabalho objetiva entender o que são os resíduos da indústria de celulose e como podem ser utilizados na construção civil, apresentando formas de destinação desses resíduos que possam ser viáveis e ajudar na sustentabilidade, como o uso de resíduos de dregs e grits em argamassas. A metodologia utilizada neste trabalho teve foco em ensaios laboratoriais de consistência de argamassas com adição de 15 e 30% de resíduos, visto que para o uso de argamassas de revestimento, a resistência não é a propriedade mais requerida e que diversos estudos, apresentados no decorrer deste trabalho, demonstraram que com adição de determinadas quantidades de resíduos a argamassa pode sofrer aumento na resistência. Os resultados obtidos demonstraram que quanto maior a quantidade de resíduos, mais seca é a consistência da argamassa, contudo cabe ao engenheiro fazer a dosagem correta de acordo com a consistência mais adequada para cada finalidade. Com os resultados pode-se concluir que uso da argamassa sustentável é viável no cotidiano da construção civil e que ela possui pequenas alterações na consistência se comparada à uma argamassa padrão. Além da viabilidade de execução, a argamassa apresenta ainda grandes benefícios ambientais, uma vez que o reaproveitamento está entre os meios de preservação do planeta.

PALAVRAS-CHAVE:

Resíduos. Celulose. Construção Civil. Argamassa. Sustentabilidade.

ABSTRACT

With the emergence of the concept of sustainability, there was an increase in the need for innovations in the way of using human-generated waste, especially industrial waste, so that it is not simply discarded, generating more and more priority for the planet. With concerns about environmental preservation, new ways of using waste are being explored. This work aims to understand what are the residues of the cellulose industry and how they can be used in civil construction, ways of disposing of residues residues that can be viable and help in sustainability, such as the use of residues of residues and grains in mortars . The methodology used in this work focused on laboratory tests of mortar consistency with the addition of 15 and 30% of residues, since for the use of coating mortars, resistance is not the most necessary property and several studies, beginning during of this work, demonstrated that with the addition of quantities of residues, the mortar can undergo an increase in strength. The results obtained showed that the greater the amount of residues, the drier the mortar consistency, however it is up to the engineer to make the correct dosage according to the most suitable consistency for each qualified. With the results it can be desired that the use of sustainable mortar is feasible in the daily life of civil construction and that small changes in consistency compared to a standard mortar. In addition to the feasibility of execution, a mortar also has great environmental benefits, since reuse is among the means of preserving the planet.

KEY WORDS:

Waste. Cellulose. Construction. Mortar. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Crescimento anual da demanda de papel e celulose	18
Figura 2 – A indústria mundial de papel.	19
Figura 3 – Pinus	20
Figura 4 – Eucalipto.....	21
Figura 5 – Resíduos	22
Figura 6 – Os resíduos e a Sustentabilidade.....	25
Figura 7 – Resíduos da indústria de papel e celulose (dregs + grits).....	26
Figura 8 – Resistência à tração das argamassas com adição de cal hidratada e de lama de cal.....	36
Figura 9 – Resistência à compressão da argamassa com dregs + grits.....	37
Figura 10 – Preparo para realização do ensaio	39
Figura 11 – Preparo da argamassa para ensaio de Índice de Consistência.	41
Figura 12 – Mesa de Consistência.	42
Figura 13 – Mesa de consistência após acionar a manivela.....	43
Figura 14 – Consistência das argamassas	44
Figura 15 – Preparo dos corpos de prova.....	45
Figura 16 – Resistência das Argamassas ensaiadas.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variação de resistência em relação à argamassa de controle	37
Tabela 2 – Traços utilizados para preparação das argamassas (em gramas).	41
Tabela 3 – Resultados das medidas de diferentes diâmetros ortogonais.....	42
Tabela 4 – Resistência média à compressão.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AOP	Processos de oxidação química e biológica combinada
BRM	Tecnologia de biorreator de membranas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda biológica de oxigênio
DG	Dregs + grits
DQO	Demanda química de oxigênio
ETE	Estação de tratamento de esgoto
FACT	Tecnologia de Cristalização Assistida por Filtração
MBR	Biorreator de membrana
ONU	Organização das Nações Unidas
RCD	Resíduos da construção civil
UV	Radiação ultravioleta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	14
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 METODOLOGIA	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 A INDÚSTRIA DE CELULOSE E SEUS RESÍDUOS.....	17
2.1 PRINCIPAIS FORMAS DE CELULOSE	19
2.1.1 Celulose de fibra longa	20
2.1.2 Celulose de fibra curta	20
2.2 OS RESÍDUOS	21
2.2.1 Tratamento de resíduos	23
2.3 O REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS	24
2.3.1 Processo de valoração de resíduos e os impactos positivos da alteração de resíduos em produtos.....	25
3 TRANSFORMAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE RESÍDUOS DE PAPEL E CELULOSE	26
3.1 GESTÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS PARA A INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL.....	26
3.2 TIPOS DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES NA INDÚSTRIA DE PAPEL.....	27
3.2.1 Tecnologia de sedimentação.....	27
3.2.2 Tratamento biológico.....	28
3.2.3 Tecnologia anaeróbica.....	28
3.2.4 Tecnologia aeróbica.....	28
3.2.5 Esclarecimento secundário.....	28

3.2.6	Tratamento avançado e terciário	29
3.2.7	Tecnologia de cristalização assistida por filtração (TNO)	29
3.2.8	Tecnologia multifuncional de amolecimento (Veolia)	29
3.2.9	Amolecimento e tecnologias de precipitação controlada.....	29
3.2.10	Eletrodiálise	30
3.2.11	Evapoconcentração	30
3.2.12	Floculação avançada.....	30
3.2.13	Tecnologias de ozônio / AOP	31
3.2.14	Tecnologias de membrana (UF, NF, RO).....	31
3.2.15	Processos MBR	31
3.3	IMPACTOS AMBIENTAIS DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE BRASILEIRA.....	32
3.3.1	Emissões atmosféricas	32
3.3.2	Resíduos sólidos	33
3.3.3	Poluentes líquidos	33
3.4	SUSTENTABILIDADE.....	33
3.4.1	Uso sustentável dos resíduos de celulose na construção civil	35
4	ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE ARGAMASSA COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE CELULOSE EM SUBSTITUIÇÃO A PARTE DO AGREGADO MIÚDO.....	39
4.1	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	39
4.2	PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS	40
4.3	PREPARO DA ARGAMASSA E REALIZAÇÃO DO ENSAIO.....	40
4.4	RESULTADOS	42
5	CONCLUSÃO.....	47
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente está em constante crescimento e com isso nos últimos anos as empresas passaram a dar mais importância aos seus processos produtivos, garantindo que seus efluentes líquidos, resíduos sólidos e emissões atmosféricas não sejam tão prejudiciais ao ecossistema ao seu redor. Para isso grandes investimentos foram feitos, transformando necessidades, que antes eram problemas, em grandes possibilidades de retorno financeiro, melhorando a imagem da empresa perante a sociedade.

Com isso, um dos investimentos que se tornou indispensável é a implantação do sistema de tratamento de resíduos, que gerou um custo adicional para as companhias. O tratamento tornou-se uma possibilidade de reaproveitamento dos resíduos e seus subprodutos gerados, para utilizá-los ou comercializá-los com outras empresas, assim garantindo mais uma fonte de lucro.

A partir da primeira revolução do século XVIII, houve a transição para um novo método de produção baseado em processos mecanizados, propiciando aumento de produtividade. Desde a década de 1970, houve evolução das tecnologias da informação e da comunicação (TIC) e sua integração nos processos produtivos trazendo benefícios às cadeias de valor. O desenvolvimento das tecnologias impulsionou a produtividade industrial, reduzindo custos de produção e fornecendo soluções para o relacionamento com fornecedores e clientes por meio de novos modelos de negócios (SANTOS et. al, 2018).

O processo de fabricação do papel foi descoberto em 751, após um ataque, quando técnicos de uma fábrica de papel foram levados presos para Bagdá, onde teve o início da fabricação de papel, também sem se revelar a fórmula. Até que, no século XI, a novidade foi se introduzindo pelos árabes na Espanha e espalhada pelo Ocidente (BRACELPA, 2013).

A indústria de papel e celulose gera diversos resíduos, como lama de cal, “dregs” e “grits”, com potencial para neutralizar a acidez do solo em áreas agrícolas, suprindo nutrientes às plantas. Nesse sentido, constituem alternativa ao uso do calcário por sua composição de natureza alcalina como CaO, CaOH, SiCO₃, além de CaCO₃ e MgCO₃ (Ramos, 2006).

As Indústrias Brasileiras de papel e celulose optaram por adotar o Kraft como um processo de produção em consequência das vantagens oferecidas além de ser um processo que

melhor se adequou no Brasil devido ao clima, ao solo fértil e as matérias primas que são abundantes, o que ajuda o país alcançar o segundo lugar no ranking de países produtores de celulose de todos os tipos possíveis além de ser o primeiro produtor mundial de celulose de eucalipto (IBÁ, 2018).

Os resíduos das indústrias de celulose podem ser utilizados em diversas áreas de aplicação, sendo que na Engenharia Civil pode ser utilizado na fabricação de argamassas, uma solução sustentável, que ajuda a preservar o meio ambiente e ainda garante boas propriedades mecânicas, na fabricação de blocos cerâmicos e na correção do solo para futuras construções.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com o aumento na demanda e produção de papel e celulose, o meio ambiente vem sendo bastante desgastado, por isso a importância em compreender sobre o uso racional dos recursos naturais e sobre a maior durabilidade dos produtos. Para auxiliar na preservação ambiental, é preciso que a emissão de resíduos seja reduzida e para que isso seja possível é necessário investir nas principais ações de preservação ambiental, os três R's da Sustentabilidade, que são Reduzir, Reutilizar e Reciclar. A construção civil oferece diversas possibilidades de aproveitamento de resíduos, sendo que diversos estudos apontam que os resíduos das indústrias de papel e celulose podem ser utilizados na produção de argamassa.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho objetiva demonstrar como se dá o funcionamento das indústrias de celulose, quais são os seus resíduos e analisar os principais métodos de tratamento desses resíduos. Com isso será feita uma análise da viabilidade da utilização dos resíduos na construção civil, com aplicação de dregs e grits na adição de argamassas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Entender funcionamento das indústrias de papel e celulose e quais são os resíduos gerados durante a produção;

- Apresentar os principais métodos de tratamento de resíduos utilizados nas indústrias atualmente;
- Definir o conceito de Sustentabilidade e sua importância;
- Buscar formas de reutilização de resíduos de celulose na construção civil, analisando a viabilidade da adição de dregs + grits em argamassas.

1.3 METODOLOGIA

Para elaboração deste trabalho foram realizadas pesquisas de referencial teórico e revisão bibliográfica, que permitiram avaliar a viabilidade do uso de resíduos derivados da indústria de celulose na área da construção civil.

Foi feita a identificação e compreensão do que vem a ser os resíduos de celulose e quais são as principais formas de tratamento utilizadas nas indústrias atualmente.

As pesquisas de reutilização de resíduos de celulose para a construção civil são recentes, pois o conceito de sustentabilidade que norteia a melhor destinação e uso dos resíduos é um conceito que só vem ganhando força nos últimos anos, o que leva a maior possibilidade de pesquisas por artigos e trabalhos acadêmicos.

Após o entendimento de como ocorre a geração de resíduos, os tratamentos mais utilizados e quais são os resíduos gerados pela indústria de papel, foi feita uma análise da adição de resíduos de celulose na preparação de argamassas e de como esses resíduos alteram a sua consistência.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 1 apresenta a introdução que traz o que será abordado nesse trabalho, a justificativa, os objetivos e a metodologia utilizada para alcançá-los.

O Capítulo 2 traz uma explicação do funcionamento da indústria de papel e celulose, a definição de celulose e seus tipos de fibras, como se define resíduos e as etapas básicas utilizadas no tratamento de resíduos da indústria de papel e celulose.

Após o entendimento de como os resíduos na indústria de papel são gerados, o Capítulo 3 traz as principais formas de tratamento adotadas pelas indústrias e como se pode utilizar esses resíduos de forma sustentável, com foco na construção civil.

O Capítulo 4 apresenta uma análise comparativa da consistência de argamassa com

adição de resíduos de celulose em substituição a parte do agregado miúdo e da argamassa padrão.

No Capítulo 5 é apresentada a conclusão, com uma análise dos resultados obtidos e da viabilidade da aplicação de resíduos na composição de argamassas.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas que foram utilizadas na construção e elaboração do trabalho.

2 A INDÚSTRIA DE CELULOSE E SEUS RESÍDUOS

A celulose é um composto natural presente nos vegetais, de onde é extraída, podendo ser encontrada em toda a extensão das plantas, desde as raízes até os frutos e sementes. Tem forma alongada e pequeno diâmetro e são frequentemente denominadas de fibras. É um dos principais componentes das células vegetais. A lignina e hemiceluloses correspondem os outros componentes importantes das plantas. A preparação da pasta celulósica para papéis ou outros fins consiste na separação das fibras dos demais componentes da planta, especialmente a lignina, que atua ligando as células entre si e proporcionando rigidez à madeira (PIOTTO, 2003).

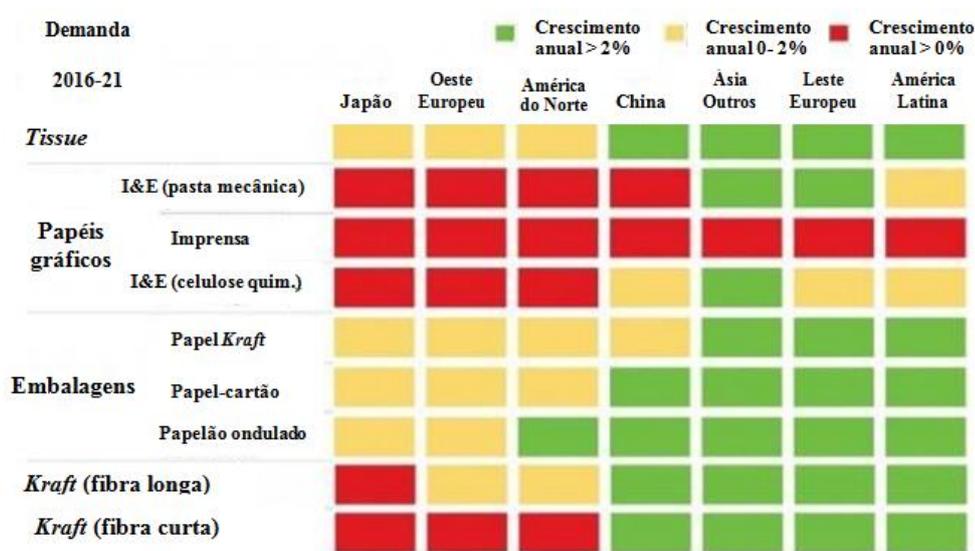
A celulose é caracterizada por ser fibrosa e úmida, onde se estabelecem várias pontes de hidrogênio entre o agrupamento das hidroxilas nas diferentes cadeias justapostas de glicose, assim tornam-se impenetráveis a água e, contudo, insolúveis, criando as fibras compactas que formam a parede celular dos vegetais (FOGAÇA, 2018).

O consumo de celulose está diretamente relacionado ao consumo de papel, que por sua vez está vinculado ao crescimento da população, à renda e à escolaridade, haja vista que quanto maiores estes indicadores, maior o consumo de papéis do tipo I&E e tissue. Para a indústria, quanto maior a produção, maior o fluxo de mercadorias e, conseqüentemente, maior o consumo de embalagens (CORREA, 2014).

A produção brasileira de papel totalizou 10,3 milhões de toneladas em 2016, com apenas 20% tem como destino a exportação. O Brasil ocupou a oitava posição na produção mundial de papel, atrás de China, Estados Unidos, Japão, Alemanha, Índia, Coreia do Sul e Canadá. O maior destes players, a China, produziu 111,2 milhões de toneladas em 2016 (IBÁ, 2017).

Na Figura 1, pode ser observado o crescimento da demanda no período 2016-2021 para os tipos de papel tissue, papéis gráficos, embalagens e celulose kraft de fibra curta e fibra longa.

Figura 1 – Crescimento anual da demanda de papel e celulose.



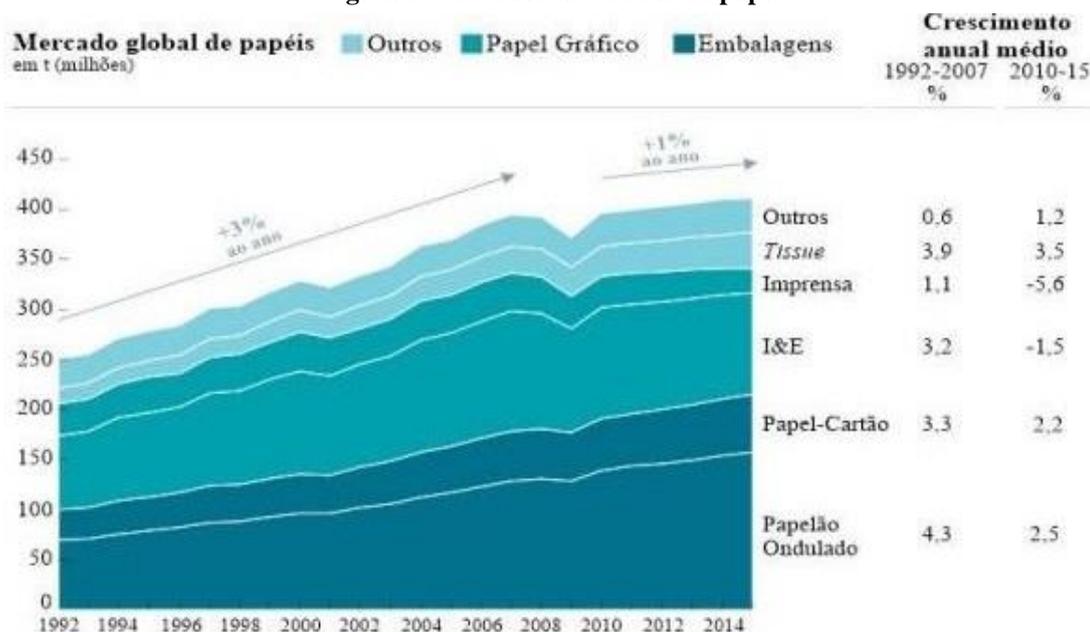
Fonte: BERG & LINGQVIST, 2017.

Segundo Berg e Lingqvist (2017), em 2015, produtos de papel gráfico apresentaram baixa na demanda mundial. Porém, a indústria de papel e celulose está crescendo, mesmo que de forma mais lenta que anteriormente, com outros produtos substituindo o vácuo deixado pela baixa dos papéis gráficos. O segmento de embalagens está aumentando cada vez mais em todo o mundo, bem como os papéis tissue. A aplicação de celulose no setor têxtil é crescente, mesmo sendo considerado um mercado pequeno.

No Brasil, entre 2015 e 2016, apenas os papéis tissue e I&E tiveram um aumento na sua produção, sendo 2,9% e 0,6%, respectivamente. O papel-cartão acumulou uma queda de 3,6%, os papéis imprensa tiveram um decréscimo de 2%, embalagens sofreram uma perda de 0,6%, outros papéis registraram uma diminuição de - 1,8%, o que resultou em uma queda de 0,2% na produção total brasileira de papéis (IBÁ, 2017).

A Figura 2 mostra a mudança no cenário da indústria mundial de papel entre 1992 e 2015, com valores representados em milhões de toneladas.

Figura 2 – A indústria mundial de papel.



Fonte: BERG & LINGQVIST, 2017.

A celulose costuma ser classificada de acordo com o tipo de fibra, podendo ser curta ou longa, o processo de fabricação, entre químico, semiquímico e alto rendimento, e a destilação, sendo de mercado ou integrada. A fibra curta é originada de espécies arbóreas folhosas como o eucalipto e a longa de coníferas como o pinus, cada fibra tem propriedades que as tornam mais adequadas a certos tipos de papéis. O processo de fabricação determina o rendimento da madeira e a qualidade da celulose. A celulose de mercado é vendida para plantas de papel e a celulose integrada destina-se à produção de papel em uma planta anexa à produção da própria celulose. A celulose para produção de papéis compete diretamente com a fibra reciclada, feita a partir de aparas de papel. Porém, essas não são aptas a substituir completamente as fibras virgens, dado a degradação existente pela reciclagem contínua (BNDES, 2012).

2.1 AS PRINCIPAIS FORMAS DE CELULOSE

No Brasil são plantadas árvores especialmente para a produção de celulose e 98% de todo papel produzido é derivado de pinus ou eucalipto, o tipo de madeira utilizada vai definir a celulose produzida, podendo ser ela de fibra longa ou curta.

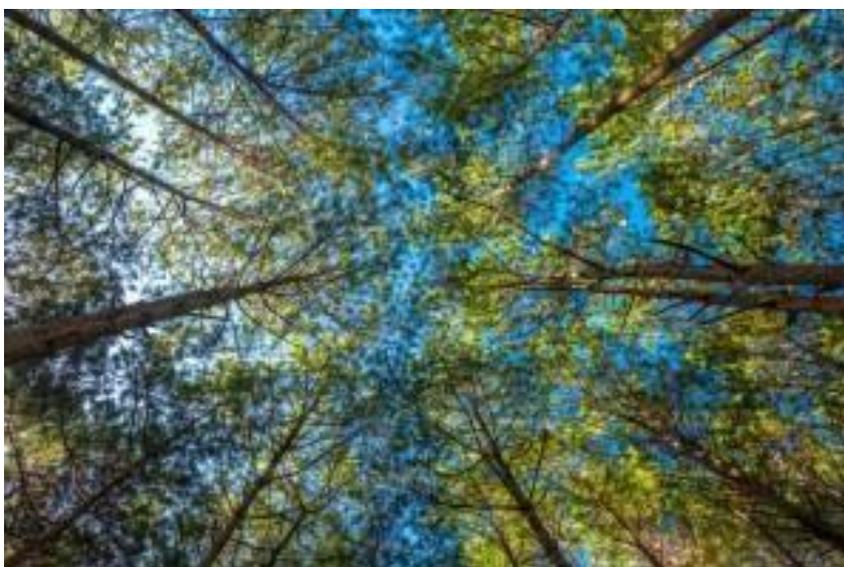
2.1.1 Celulose de fibra longa

Possui estrutura fibrosa e comprimento longo – entre 2 e 5 centímetros –, a celulose retirada de coníferas, como o pinus, é definida como celulose de fibra longa.

Esse tipo de celulose tem aplicação em papéis que necessitam de uma resistência maior, como o papel usado na fabricação de embalagens e no papel cartão. Mesmo que fino, o papel jornal é derivado da celulose de fibra longa, o que explica a sua textura mais rígida se comparado a outros tipos de papel.

A Figura 3 apresenta o Pinus, um exemplo de extração de fibras longas de celulose.

Figura 3 – Pinus.



Fonte: HUSQVARNA, 2015.

2.1.2 Celulose de fibra curta

A celulose de fibra curta é originada de árvores com fibra curta (como o eucalipto, o álamo, a bétula e a acácia) e é basicamente mais apropriada para fabricar papéis de impressão e escrita revestidos e não-revestidos, papel de seda e papelão de embalagem revestido, ainda sendo o melhor tipo para a produção de papel sem madeira com boa capacidade de impressão, maciez, brilho e uniformidade.

A Figura 4 apresenta o Eucalipto, um exemplo de extração de fibras curtas de celulose.

Figura 4 – Eucalipto.

Fonte: HUSQVARNA, 2015.

2.2 OS RESÍDUOS

Resíduo é tudo aquilo que é descartado, ou seja, não aproveitado em outras atividades. São originados principalmente de indústrias e que podem ser classificados como: perigosos, não-inertes e inertes.

Além disso, a própria palavra lixo não serve mais para definir o que é descartado diariamente pelas residências, empresas e órgãos públicos. Tudo o que no passado aprendemos a chamar de lixo deve ser chamado atualmente de “resíduo sólido”. Os especialistas asseguram que qualquer que seja o resíduo sempre haverá uma destinação mais adequada para ele do que simplesmente descartar. Da reutilização a geração de energia, tudo tem valor e pode, inclusive, tornar-se fonte de renda (SEBRAE, 2019).

Para a construção sustentável, é necessário que haja a redução dos resíduos pelo desenvolvimento de tecnologias limpas, utilização de materiais recicláveis e/ou reutilizáveis, além de adequada coleta e disposição de inertes. Se os RCD forem selecionados, classificados e adequadamente limpos, podem se transformar em agregados secundários para utilização em aterros ou concretos de baixa resistência (Schalch et al., 2010).

A Figura 5 traz alguns exemplos de resíduos.

Figura 5: Resíduos.



Fonte: RAMOS, 2006.

Quanto à classe a qual pertence cada resíduo, deve-se observar a atividade que lhes deu origem e os seus constituintes. De acordo com a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama, 2002) e suas alterações (citadas a seguir), que trata especificamente de RCDs, os resíduos podem ser divididos em quatro classes:

- Classe A - são aqueles reutilizáveis como agregados, como: de construção, demolição, reparos de pavimentação e de infraestrutura, solos provenientes de terraplanagem; de construção, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; da etapa de fabricação ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fio etc.) sendo produzidas em canteiros de obras;
- Classe B - são resíduos que podem ser recicláveis para outras destinações, como plásticos, papel, metais, vidros, madeiras e outros;
- Classe C – são resíduos nos quais não foram desenvolvidas tecnologias ou até mesmo aplicações economicamente viáveis que possam permitir a sua recuperação, como os produtos gerados do gesso;
- Classe D - são resíduos perigosos formados a partir do processo de construção, como tintas, solventes e óleos ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde humana.

Apesar dos transtornos causados, os resíduos podem ser vistos como fontes de materiais alternativos de grande potencial e utilidade na engenharia, uma vez que podem ser utilizado em substituição de materiais naturais extraídos de jazidas ou podem ser transformados em matéria-prima para componentes de construção, com qualidade semelhante aos materiais tradicionais (Oliveira, 2007).

2.2.1 Tratamento de resíduos

O tratamento de resíduos consiste em artifícios e recursos necessários para obedecer às legislações apropriadas aos resíduos, com o intuito de diminuir impactos que causam malefícios a saúde dos seres humanos e no meio ambiente, desde o ato de produção até a direção final de determinados produtos.

Esse tratamento numa maneira correta consiste na possibilidade de reutilização ou reciclagem dos resíduos através de um tratamento intermediário, isto é, medidas que contribuem para a diminuição de perigos causados pelos mesmos.

Mielli (2007) afirma que o tratamento de resíduos em fábricas de celulose é composto por quatro etapas diferentes:

1) **Tratamento preliminar:** tem por objetivo remover sólidos grosseiros. Nas fábricas de produção de papel e celulose através do processo kraft. Dois tipos de tratamento preliminar são adotados, que são a remoção de sólidos grosseiros e resfriamento do efluente. Na maioria das vezes o tratamento utilizados nas fábricas é o resfriamento do efluente, por poder chegar as estações com temperaturas superiores a 45°C, sendo a temperatura ideal de 35°C, então o mesmo deve ser resfriado para entrar no reator biológico.

2) **Tratamento primário:** tem por objetivo remover os sólidos em suspensão;

3) **Tratamento secundário biológico:** O principal objetivo é reduzir a DBO solúvel. Os diferentes tipos de tratamentos secundários biológicos são:

- Lagoas aeradas
- Lagoas de estabilização
- Filtros biológicos
- Lodos ativados

4) **Tratamento terciário:** é responsável pela remoção adicional de poluentes em águas residuárias, antes mesmo de sua descarga nos corpos receptores; essa característica pode também ser chamada de “polimento”. Os processos de tratamento terciário compreendem:

- Filtração para remoção de DQO e DBO;
- Cloração para a remoção de bactérias;
- Absorção por carvão ativado;
- Processo da pasta de cal entre outros processos de absorção química para remover a cor;
- Redução de espuma e também de sólidos inorgânicos pelo eletrodiálise, da troca iônica e da osmose reversa.

2.3 O REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

Os resíduos gerados na produção dos setores industriais devem ser manuseados de forma segura para que não ocorram impactos ambientais desde o processo até sua chegada às unidades especializadas de tratamento de resíduos industriais.

Valoração é um conceito que visa melhorias de forma sustentável para processos, sistemas e produtos, tanto na parte financeira quanto na ambiental. Isso é o que pode ser feito com resíduos industriais: com uma tecnologia avançada e boas patentes, o tratamento de resíduos é realizado e então transformado em matérias primas onde são utilizados na própria fonte geradora ou até mesmo sendo comercializados. Então o que era considerado como sobra ou algo descartado, pode ser algo lucrativo sendo utilizado até mesmo na própria indústria.

O aproveitamento de resíduos orgânicos e inorgânicos pode se tornar bastante útil, pois a partir disso pode-se converter esse tipo de material em:

- Corretivos de solo;
- Fertilizantes organo-mineral;
- Materiais de construção civil e fibrocimento;
- Tintas e pigmentos;
- Fibras para papel;

2.3.1 Processo de valoração de resíduos e os impactos positivos da alteração de resíduos em produtos

O processo para que os resíduos sejam transformados em matéria-prima é realizado por diferentes tipos de tecnologias, que são definidas a partir das características físico-químicas de cada material, assim como de sua fonte geradora. Por isso, o processo de valoração é diferente e variável dependendo das características dos resíduos.

O processo de valoração nas indústrias ocorre através da transformação das sobras de resíduos em insumos, diminuindo custos muito altos os aterros são destinados a receber os resíduos, com possibilidade na criação de outras linhas de negocio através do uso ou do comercio do resíduo transformado.

Ainda, se torna uma maneira de minimizar os riscos ambientais, reduzir problemas com alguns órgãos fiscalizadores e além de tudo isso a produção se torna um processo mais viável e sustentável. Então, é uma forma consciente que contribui na construção dentro das empresas e promove o alcance de novas metas de sustentabilidade, que com o passar do tempo se tornam ainda mais importantes para as indústrias e para o meio em si.

A Figura 6 mostra como a destinação correta dos resíduos está diretamente relacionada com a Sustentabilidade e a preservação ambiental, garantindo maior harmonia no funcionamento do planeta.

Figura 6: Os resíduos e a Sustentabilidade.



Fonte: CORREA, 2014.

3 TRANSFORMAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE RESÍDUOS DE PAPEL E CELULOSE

A indústria de papel e celulose gera grandes volumes de resíduos nos seus processos produtivos. Porém, esses resíduos podem ser reaproveitados e transformados em matérias-primas, desde que as tecnologias e os processos sejam realizados de forma eficiente e corretos.

Empresas estão desenvolvendo tecnologias para a transformação e a recuperação de resíduos produzidos na indústria de papel e celulose. Possuem patentes e novas tecnologias que utilizam dos resíduos de papel e celulose para a fabricação de fertilizante organo-mineral, tintas ou pigmento, além da recuperação de fibras para produção de papel e fibrocimento.

Os resíduos inorgânicos são transformados e logo após aplicados no processo de fabricação de organo-mineral, são utilizados na recuperação de solos e se tornam produtos para construção civil como pavers, blocos, etc. Além da transformação de resíduos em materiais, ocorre também a queima ou reaproveitamento e outros processos como matéria-prima (lama de cal, dregs e cinzas de caldeira).

Figura 7 – Resíduos da indústria de papel e celulose (Dregs + Grits).



Fonte: MARQUES, 2019 (adaptado).

3.1 GESTÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS PARA A INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL

Toda indústria gera resíduos industriais durante seu processo de produção. Na indústria de papel, grandes quantidades de água são usadas na fabricação de seus produtos. Em um contexto de rigorosos padrões ambientais e mudanças no setor de celulose e papel, as empresas precisam se adaptar para permanecer lucrativas. Além disso, as empresas desse

setor correm o risco de sofrer derramamentos acidentais.

Como uma grande quantidade de água é usada durante o processo de produção na indústria de papel e celulose, o tratamento de águas residuais industriais pode ser um problema real. As instalações de tratamento de água para a indústria de papel produzem uma quantidade significativa de resíduos de filtração. É necessário encontrar formas de disposição do lodo industrial gerado no processo de produção.

A grande quantidade de resíduos industriais gerados durante a produção de celulose e papel significa que às vezes as usinas precisam descontaminar o solo circundante. Muitos aterros sanitários para madeira estão fortemente contaminados.

Além disso, para a indústria florestal, a contaminação do solo por hidrocarbonetos pode ser descoberta após o fechamento de um local de corte. Essa contaminação é resultado de atividades industriais nesses locais, do uso de máquinas pesadas etc. Antes de plantar novas árvores, é importante descontaminar o solo no local.

3.2 TIPOS DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES NA INDÚSTRIA DE PAPEL

A indústria de papel utiliza uma variedade de sistemas de tratamento de efluentes. A melhor combinação de processos para cada caso individual depende da qualidade específica do grau do efluente que será tratado. De acordo com Teixeira (2007), Viegas (2010) e Von Sperling (2007), as principais formas de tratamento utilizadas são:

3.2.1 Tecnologia de sedimentação

A tecnologia de sedimentação é o método mais simples e econômico de separar substâncias sólidas da fase líquida. A alta eficiência é alcançada nos processos subsequentes de tratamento de efluentes quando as substâncias sólidas suspensas nos efluentes se depositam no tanque de sedimentação o mais completamente possível e o lodo sedimentado é removido do tanque de sedimentação. Os equipamentos de sedimentação com conjuntos de passagens em forma de lamela são empregados na indústria de papel, especialmente para efluentes com altas concentrações de fibras.

3.2.2 Tratamento biológico

O tratamento biológico de águas residuais é projetado para degradar poluentes dissolvidos em efluentes pela ação de microrganismos. Os microrganismos utilizam essas substâncias para viver e se reproduzir.

Poluentes são usados como nutrientes. O pré-requisito para essa atividade de degradação, no entanto, é que os poluentes sejam solúveis em água e não sejam tóxicos.

3.2.3 Tecnologia anaeróbica

Desde o início dos anos 80, o tratamento anaeróbico de efluentes industriais tem aplicação generalizada na indústria de celulose e papel. Várias centenas de instalações estão tratando uma grande variedade de diferentes efluentes de celulose e papel.

O tratamento anaeróbico é mais comumente usado para efluentes provenientes de fábricas de papel reciclado, especialmente durante a produção de papelão para contêineres. Além disso, as águas residuais de polpação mecânica (branqueada com peróxido), polpa semi- química e condensados de sulfito e evaporador kraft podem ser tratados.

3.2.4 Tecnologia aeróbica

Microrganismos aeróbicos requerem oxigênio para apoiar sua atividade metabólica. No tratamento de efluentes, o oxigênio é fornecido ao efluente na forma de ar por equipamento de aeração especial. O tratamento aeróbico permite a degradação totalmente biológica dos efluentes da fábrica de papel. As plantas operadas aerobicamente apresentam maior estabilidade da planta e são menos sensíveis às flutuações nos parâmetros de efluentes e plantas.

3.2.5 Esclarecimento secundário

O esclarecimento secundário visa separar a biomassa (lodo ativado) formada nos reatores biológicos e, portanto, é um elemento-chave em todos os processos empregados na etapa final de uma estação de tratamento. A qualidade do processo de separação é tão crucial para a qualidade final do efluente quanto o próprio tratamento biológico.

3.2.6 Tratamento avançado e terciário

O tratamento terciário e avançado de águas residuais é usado para remover componentes específicos de águas residuais que não podem ser removidos por tratamento secundário. Diferentes processos de tratamento são necessários para remover nitrogênio, fósforo, sólidos em suspensão adicionais, orgânicos refratários ou sólidos dissolvidos. Às vezes, é referido como tratamento terciário, porque o tratamento avançado geralmente segue tratamento secundário de alta taxa. No entanto, os processos avançados de tratamento às vezes são combinados com o tratamento primário ou secundário (por exemplo, adição química a decantadores primários ou bacias de aeração para remover o fósforo) ou usados no lugar de tratamento secundário (por exemplo, tratamento de fluxo por terra do efluente primário).

O tratamento avançado de águas residuais na indústria de celulose e papel está focado principalmente em reatores de membrana biológicos adicionais, tratamento de ozônio e técnicas de filtragem de membranas, como micro, ultra ou nanofiltração e osmose reversa.

3.2.7 Tecnologia de cristalização assistida por filtração (TNO)

A Tecnologia de Cristalização Assistida por Filtração (FACT) é um processo híbrido, patenteado pelo TNO, combinando cristalização heterogênea e uma filtragem simples. As sementes heterogêneas devem permitir cristalização rápida e fácil filtragem.

3.2.8 Tecnologia multifuncional de amolecimento (Veolia)

A Veolia desenvolveu e usou processos avançados de precipitação com recirculação de lodo, incluindo cristalizadores de tubo de tiragem de circulação forçada com misturadores personalizados que produzem circulação muito alta para minimizar as zonas supersaturadas.

3.2.9 Amolecimento e tecnologias de precipitação controlada

Especialmente, na indústria de celulose e papel, a remoção do composto descamativo, chamado carbonato de cálcio, é um ponto-chave na perspectiva de uma

reutilização das águas residuais. De acordo com a teoria da cristalização, a precipitação é definida como uma "cristalização reativa". Esta definição é preferida, pois enfatiza a formação do produto sólido através de uma reação química.

3.2.10 Eletrodialise

A eletrodialise é uma técnica de separação eletroquímica de membranas para soluções iônicas que tem sido usada na indústria há várias décadas. Pode ser usado na separação e concentração de sais, ácidos e bases de soluções aquosas, separação de íons monovalentes de íons multivalentes e separação de compostos iônicos de moléculas não carregadas.

3.2.11 Evapoconcentração

A evapoconcentração é uma operação unitária que consiste na separação de dois líquidos: a remoção do solvente (geralmente água) como vapor de uma solução ou pasta. O objetivo da evapoconcentração é obter um destilado muito limpo que possa ser rejeitado na natureza, enviado em uma estação de tratamento de esgoto ou reutilizado.

A evaporação provou ser uma tecnologia muito eficiente e confiável para o tratamento de águas residuais industriais, principalmente devido à sua flexibilidade no tratamento de tipos muito diferentes de resíduos, com uma carga muito alta de poluentes.

3.2.12 Floculação avançada

O processo de floculação química é um processo crucial, pois promove a agregação de partículas após ser desestabilizado por um agente químico.

Na indústria de celulose e papel, a floculação está envolvida em diferentes partes do processo: é essencial formar a folha de papel no arame de formação, determinando a retenção, a taxa de drenagem e a formação, e também é usado no tratamento de águas residuais para separar a material coloidal e no espessamento do lodo.

3.2.13 Tecnologias de ozônio / AOP

Hoje, o ozônio e os raios UV são bem conhecidos e comprovados no campo do tratamento de águas e águas residuais como ozônio como oxidante poderoso multifuncional e UV como a melhor técnica disponível para desinfecção em relação aos resultados do tratamento, projeto e custo da planta. O principal objetivo desses processos combinados é aumentar o potencial de oxidação.

Os processos de oxidação química e biológica combinada (AOP) são bem conhecidos por remover substâncias recalcitrantes e antropogênicas das águas residuais. Além disso, a descoloração com ozônio já foi estabelecida como uma aplicação de polimento de efluentes biológicos tratados.

3.2.14 Tecnologias de membrana (UF, NF, RO)

O tratamento por membrana na indústria de P & P serve para otimizar o fechamento do circuito e, portanto, ajuda a reduzir a ingestão de água doce e o tratamento de águas residuais. Outros objetivos dos processos de membrana são: melhoria da qualidade do produto devido à redução da poluição da água do circuito, reutilização do efluente tratado na produção, recuperação de substâncias valiosas, por exemplo pigmentos de revestimento e minimização do impacto ambiental devido à melhoria da qualidade dos efluentes. A filtragem em membrana em larga escala de efluentes de celulose e papel já foi instalada em algumas fábricas.

O tratamento de nanofiltração do efluente total foi instalado em uma fábrica de papel de jornal há vários anos. A vantagem da NF na recuperação de água para recirculação é principalmente que a água limpa pode ser usada mesmo nos locais mais exigentes da fábrica de papel.

3.2.15 Processos MBR

Atualmente, existe um interesse crescente no processo MBR (biorreator de membrana) no tratamento de águas residuais municipais e industriais. O MBR é usado na indústria de papel como tecnologia de fim de tubo, bem como medida integrada de processo

para a redução da concentração de substâncias prejudiciais no circuito da água. Especialmente em termos de qualidade de efluentes e aspectos econômicos, o MBR é uma tecnologia sustentável para o tratamento de águas residuais industriais.

3.3 IMPACTOS AMBIENTAIS DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE BRASILEIRA

As indústrias de papel e celulose são fortes contribuintes para impactar o meio ambiente, tanto em reflexos oriundos da fase “agrícola”, principalmente no que concerne à substituição de áreas amplas de florestas nativas por floresta homogênea (eucalipto ou pinus), como no elevado consumo de água e na utilização de produtos químicos.

É muito difícil avaliar o impacto global no meio ambiente gerado por resíduos das indústrias de papel e celulose. Deve-se saber, porém, que nenhum poluente age sozinho, e sim parte de um complexo constituído por diferentes agentes químicos ou físicos, onde o efeito final é obtido pelo resultado de vários fatores atuando juntos. A origem de tais interações não é totalmente conhecida, sendo assim a primeira condição para prever-se o impacto ambiental é o reconhecimento de como os resíduos se espalham no sistema e similarmente ter um melhor conhecimento da distribuição depois de um determinado tempo. Ainda é necessário o reconhecimento da taxa do metabolismo dos poluentes por microrganismos e também por animais. Resíduos da fabricação de celulose e papel possuem uma grande variedade de compostos com pesos moleculares diferentes e as espécies químicas que formam nesta mistura complexa não somente são indefinidas como também muito difíceis de definir devido a sua elevada reatividade, ou seja, a incansável transformação de compostos (CRUZ, 2017).

3.3.1 Emissões atmosféricas

O processo Kraft, em si, é bastante danoso ao meio ambiente devido à poluição atmosférica oriunda de compostos orgânicos tóxicos, da emissão de dióxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio e material particulado devido à razão da disposição inadequada e da posterior lixiviação dos resíduos (QUINTIERE, 2012).

3.3.2 Resíduos sólidos

A indústria de papel e celulose é responsável também por gerar resíduos sólidos constituídos de elevado teor de matéria orgânica, sobre tudo, de fibras celulósicas. Os principais resíduos inorgânicos são os grits, dregs e lama de cal do procedimento de recuperação. Tais resíduos podem se transformar em produtos através de processos de reciclagem econômicos e práticos sendo destinados à utilização em plantios e outros meios (QUINTIERE, 2012).

3.3.3 Poluentes líquidos

Os sólidos suspensos que estão presentes em efluentes das indústrias de papel e celulose, são constituídos principalmente de fibras ou partículas fibrosas. Com isso, esse material tende a sedimentar-se em áreas próximas ao ponto de descarga, formando então o leito de fibras onde ocorre uma decomposição biológica dando cosequencia a uma formação de gás metano (VON SPERLING, 2007).

3.4 SUSTENTABILIDADE

O termo sustentabilidade vem ganhando grande destaque atualmente e é um tema de extrema relevância por despertar a atenção em relação às mudanças climáticas geradas pela ação do ser humano sobre o meio ambiente, assim podendo causar uma emergência planetária. Com isso, ocorre o reconhecimento do preço de fatores como, por exemplo, o meio ambiente, o impacto nas comunidades e também a longevidade dos funcionários, o que significa uma visão mais apurada de sustentabilidade para o lucro da empresa ao decorrer do tempo (GORE, 2006).

A sustentabilidade está ligada de forma direta ao desenvolvimento econômico, sem que haja agressão ao meio ambiente, visando sempre o futuro com senso da humanidade em garantir um desenvolvimento sustentável e racional.

De acordo com o Relatório de Brundland, da Organização das Nações Unidas (ONU), o desenvolvimento sustentável é aquele que atende as necessidades das gerações atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem a suas necessidades e aspirações.

Segundo Boff (2012), tal definição apresentada acima possui limitações, pois só se relaciona ao ser humano e não diz respeito a outros tipos de seres vivos. Por isso sustentabilidade são as condições necessárias para sustentar todos os seres, atendendo as necessidades de gerações presente e futuras.

Os avanços industriais estão voltados para a melhora das atividades em prol da sustentabilidade sendo uma forma de proteção ao meio ambiente e ao mesmo tempo podendo economizar matéria prima na própria produção.

Deve-se reutilizar produtos descartando o mínimo possível ao meio ambiente de modo que os gastos apresentados com o processo de reutilização sejam um investimento.

Na sustentabilidade dos recursos hídricos, são necessários tratamentos dos efluentes altamente tóxicos através das ETEs e uma forma moderna para diminuir ainda mais a carga orgânica jogada nos rios que afeta o ecossistema já que as IPCs estão enfrentando grandes desafios para cumprir as normas ambientais mais rígidas, dentre elas a implantação de novas tecnologias de tratamento de efluentes que possam possibilitar o lançamento de efluente com uma boa qualidade no corpo receptor e a sua reutilização ou reciclagem dentro do processo de produção, diminuindo a captação de águas superficiais e também a geração de efluentes.

O biorreator de membranas (BRM) é uma das opções para o tratamento de efluentes das indústrias de papel e celulose. Graças as suas elevadas capacidades de remoção da ampla variedade de compostos tóxicos e orgânicos, proporcionando efluente final com ótima qualidade para o reuso, a partir de instalações de tratamento mais rijas, automatizadas e com custo competitivo em relação aos outros sistemas convencionais de tratamento (NEVES et al., 2011).

Por último e bastante relevante para a sustentabilidade, pode-se ressaltar a produção de papel reciclado que diminui a poluição ambiental além de economizar metade da energia, podendo chegar a 80% de economia se comparados papéis reciclados simples com papéis virgens realizados com pasta de refinador. Algumas indústrias de reciclagem podem funcionar com pequenos ou mínimos impactos ambientais, pelo fato da fase crítica de produção de celulose já ser feita anteriormente, contudo, indústrias de reciclagem de pequeno porte que competem com grandes indústrias, não realizam muitos investimentos em controle ambiental. Porém, seria muito interessante as grandes indústrias que não o fazem, colocarem o setor de reciclagem como forma complementar, podendo ser fornecedoras de papel reciclado gerando ainda mais lucro e empregos (RICCHINI, 2017).

3.4.1 Uso sustentável dos resíduos de celulose na construção civil

Desde que o conceito de sustentabilidade foi incorporado, diversos estudos da destinação de resíduos nas mais diversas áreas passaram a ganhar maior destaque devido à conscientização da necessidade de preservação ambiental. Diversas aplicações são possíveis na construção civil, desde matrizes cimentícias e cerâmicas à estabilização de solos para possibilitar outras construções. Vários estudos vêm sendo desenvolvidos no decorrer do tempo para que se possa cada vez mais utilizar os resíduos de forma sustentável, uma das primeiras destinações dos resíduos das indústrias de celulose foi a agricultura, servindo como fonte de nutrientes para correção do solo através da compostagem.

A partir de 1995, começaram estudos de uso dos resíduos de celulose na construção civil, uma das utilizações foi na fabricação de material cerâmico. Foram inúmeros testes até que se chegou à conclusão que poderia ser incorporado cerca de 10 a 30% de resíduos na fabricação de blocos sem que estes sofressem alterações na resistência. Além dos benefícios nas propriedades dos materiais, ainda há ganhos ambientais, devido a destinação do resíduo que é aproveitado e não permanece em aterros contaminando solos e recursos hídricos (PINTO, 2005).

Posteriormente foram conduzidos estudos que utilizavam resíduos em pastas de cimento com diferentes traços e após os ensaios de compressão notou-se que a resistência não foi alterada e que além disso, as misturas com os resíduos garantiram bom isolamento acústico e térmico (NOLASCO, 1997).

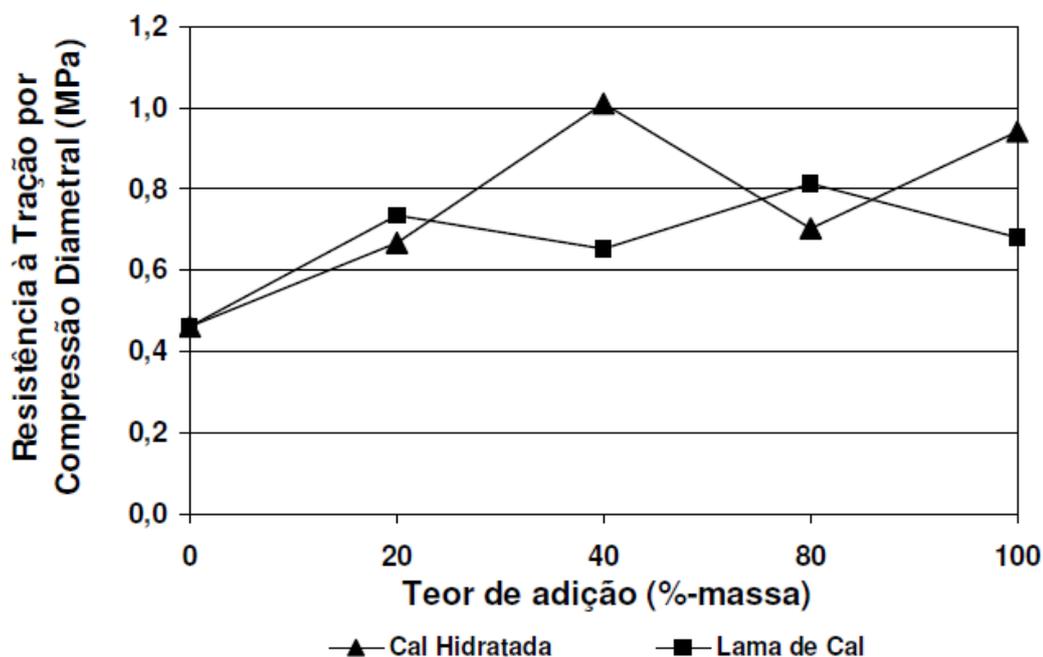
Apesar das fibras vegetais, como é o caso da celulose, apresentarem propriedades mecânicas de menor qualidade se comparadas às industrializadas, elas apresentam qualidades como a baixa densidade e o baixo custo, o que torna o uso dessas fibras atrativo e viável. Além disso, as fibras vegetais podem contribuir para que as tensões se distribuam de uma melhor forma, agindo de forma a inibir fissuras (SWAMY, 1990).

Carvalho (2006) fez um estudo para analisar a viabilidade da adição da lama de cal derivada das indústrias de papel e celulose em argamassa de cimento com presença de cal hidratada, onde ele utilizou este resíduo em substituição à cal hidratada em proporções variando de 0 a 100% e seus resultados demonstraram a viabilidade do manuseio e aplicabilidade e após o endurecimento foi possível notar que a adição de resíduo nos teores de 20% e 80% resultaram em ganhos de resistência mecânica à compressão e tração. Além disso, com ensaios realizados de acordo com as Normas Brasileiras de Regulamentação, foi possível constatar que o uso de lama de cal garante boa resistência de aderência. Economicamente, a

adição de resíduos, se comparada a adição de cal hidratada, também mostrou ser mais vantajosa. Com a análise de todos os resultados obtidos pelo autor, pode-se observar que para a construção civil, o uso de resíduos da indústria de papel e celulose apresenta uma alternativa viável nas áreas técnica, econômica e ambiental.

Na Figura 8 é possível observar a comparação entre a resistência da argamassa com adição de cal hidratada e as argamassas com adição de lama de cal.

Figura 8: Resistência à tração das argamassas com adição de cal hidratada e de lama de cal.



Fonte: CARVALHO, 2006.

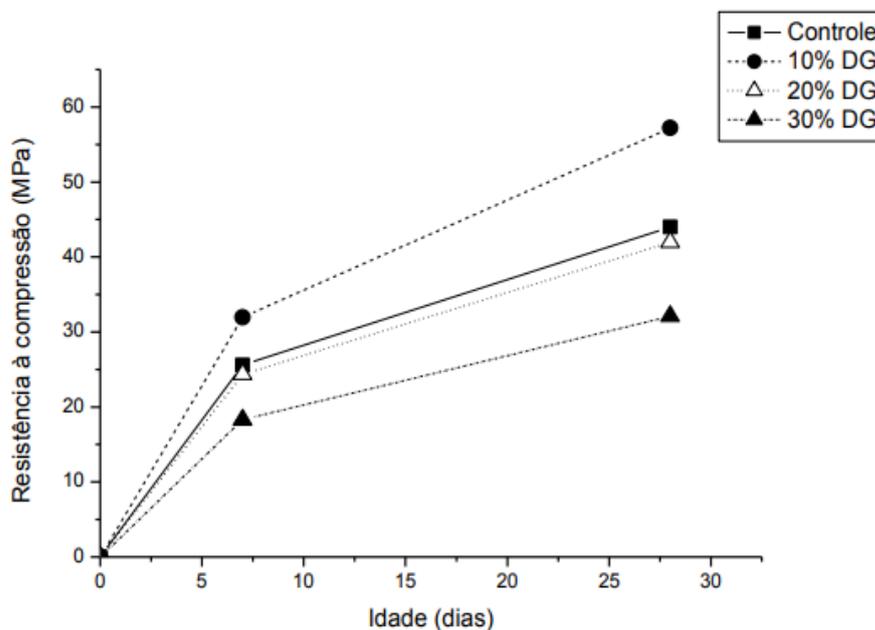
Em 1996, foram realizados por Bandeira, os primeiros ensaios de adição de cinzas, dregs e grits em argamassas em diferentes traços. Nos resultados dos ensaios de resistência à compressão foi possível notar semelhança na resistência da argamassa com adição de resíduos e da argamassa padrão, sendo que foi feita uma adição de até 30% de resíduos.

Posteriormente, para análise da viabilidade do uso de resíduos em argamassas de cimento, Zanella (2012) avaliou a durabilidade da argamassa mista utilizada em revestimentos internos de paredes e tetos onde os compostos de dregs + grits foram utilizados para substituir a areia. A mistura de dregs + grits forma um material escuro e suavemente granular, cuja aparência se assemelha à um pó de café. Possui uma elevada finura granulométrica, onde a maioria das partículas podem ser inferiores a 1,2 mm em diâmetro (FOELKEL, 2011).

Os resultados obtidos apresentaram semelhança na durabilidade da argamassa com

resíduos e da argamassa padrão. Na Figura 9, é possível analisar a resistência à compressão para quatro traços diferentes de dregs + grits (DG), onde a argamassa de controle é a argamassa padrão, feita sem adição de resíduos.

Figura 9: Resistência à compressão da argamassa com dregs + grits.



Fonte: MARQUES et al., 2014.

Analisando o gráfico presente na figura e os dados apresentados pelo autor, foi possível elaborar a Tabela 1, que mostra a variação percentual de resistência entre os traços DG.

Tabela 1: Variação de resistência em relação à argamassa de controle.

Traços	Variação em relação à argamassa de controle
Controle	-
10% DG	Aumento de 23%
20% DG	Diminuição de 5%
30% DG	Diminuição de 37%

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020.

Ao observar a tabela, é possível analisar que com adição de 10 % de resíduos a argamassa ganha resistência, com adição de até 20% de dregs + grits, não há uma redução significativa na resistência da argamassa, mas ao acrescentar 30% de dregs + grits a resistência cai consideravelmente.

4. ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE ARGAMASSA COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE CELULOSE EM SUBSTITUIÇÃO A PARTE DO AGREGADO MIÚDO

Diversos estudos demonstram que a adição de resíduos não interferem negativamente na resistência quando utilizados em uma proporção de até 20% e considerando-se que para as argamassas a resistência não é a propriedade mais requerida e no que diz respeito a outras propriedades, como a consistência e a uniformidade granulométrica, os resíduos de dregs + grits não apresentam um problema e são ideais devido ao baixo custo e garantia de uniformidade (FOELKEL, 2011).

Zanella (2012) relatou que quanto maior a quantidade de resíduos na argamassa, mais seca é a sua consistência, pois o DG possui menor granulometria se comparado à areia e a matéria orgânica presente em sua composição contribui para uma maior absorção de água.

Para analisar o comportamento da argamassa quando ocorre adição de resíduos de celulose em substituição de parte do agregado miúdo, no que se refere à consistência, foi feito um ensaio do Índice de Consistência em argamassa padrão (onde foi utilizado apenas cimento, areia e água) e um ensaio com argamassa com adição de resíduos da indústria de papel e celulose (dregs + grits) em substituição à parte da areia.

O ensaio seguiu as recomendações da NBR 13276/2002.

4.1. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Os equipamentos utilizados foram:

- Balança de precisão;
- Estufa;
- Peneira;
- Recipientes para preparo e mistura dos materiais;
- Mesa de consistência;
- Molde tronco cônico;
- Soquete metálico;
- Moldes de corpo de prova;

A Figura 10 mostra o preparo de alguns equipamentos utilizados.

Figura 10: Preparo para realização do ensaio.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020.

Os materiais utilizados foram escolhidos de acordo com os mais utilizados no cotidiano das obras, para verificar a real viabilidade do uso da adição de resíduos em argamassas.

- **Cimento**

Foi usado o cimento tipo CP-II F 32 — Cimento Portland composto (tipo II).

- **Areia**

Foi utilizada areia fina, na qual foi realizada uma lavagem prévia para remover possíveis impurezas orgânicas que afetariam os resultados.

- **Resíduos**

Foram coletadas 500 gramas de resíduo em uma empresa de reciclagem de papel da cidade de Goiânia. A empresa coleta e trata seus resíduos de acordo com a norma vigente recomendado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

- **Água**

Foi utilizada água disponibilizada pela rede de abastecimento pública.

4.2. PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS

Inicialmente foi realizado o peneiramento da areia e dos resíduos em uma peneira fina, após isso a areia foi lavada e esses materiais passaram por uma secagem em estufa por vinte e quatro horas para eliminação da umidade presente nos materiais, pois a umidade pode causar alterações na consistência e diminuição da resistência e com isso influenciar na menor precisão dos resultados.

4.3. PREPARO DA ARGAMASSA E REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Para preparo da argamassa padrão foi utilizado somente cimento, areia e água. Na argamassa com adição de resíduos foram colocados 15 e 30% de resíduos em substituição de parte da areia. As argamassas foram preparadas de forma manual, onde se misturou previamente a areia, a água e os resíduos até obter homogeneidade antes de fazer a adição de água. A Tabela 2 apresenta os traços utilizados na preparação das argamassas.

Tabela 2: Traços utilizados para preparação das argamassas (em gramas).

Traços	Cimento	Areia	Dregs + grits	Água
Padrão	400	920	0	200
Dregs + grits (15%)	400	782	138	200
Dregs + grits (30%)	400	644	276	200

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020.

Após a realização das misturas, foi realizado o ensaio do Índice de Consistência de acordo com a NBR 13276/2002. A Figura 11 ilustra o preparo da argamassa para o ensaio de consistência.

Figura 11: Preparo da argamassa para ensaio de Índice de Consistência.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020.

Para determinar a consistência, o ensaio foi realizado logo após a preparação da argamassa, para que não ocorresse endurecimento da argamassa que acarretasse em alterações no resultado.

Para início da execução, o tampo da mesa de consistência e o molde tronco-cônico foram limpos e deixados ligeiramente úmidos. O molde foi colocado no centro da mesa e a argamassa padrão foi colocada em três camadas aparentemente iguais, sendo que em cada camada foram aplicados 15, 10 e 5 golpes com o soquete, respectivamente.

Foi feito rasamento da argamassa com régua metálica rente à borda do molde tronco-cônico e a parte da mesa em volta do molde foi limpa. O molde foi retirado e a manivela da mesa para índice de consistência foi acionada de maneira uniforme, de modo a que a mesa subia e descia 30 vezes em 30 segundos.

Depois da última queda da mesa, foi medido com paquímetro o espalhamento do molde. Para obtenção do resultado foi necessário realizar a medida do diâmetro da base do tronco de cone da argamassa após a deformação causada pela mesa de ensaio e fazer a média aritmética.

O processo foi realizado da mesma forma para a argamassa com adição de resíduos.

A Figura 12 mostra a mesa de ensaio do Índice de Consistência.

Figura 12: Mesa de Consistência.

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020.

Após isso, foram moldados dois corpos de prova de cada tipo de argamassa que foram levados para a câmara úmida para cura do concreto e realização do ensaio de resistência à compressão com prensa. Foram rompidos dois corpos de prova moldado de cada tipo de argamassa após 7 dias para análise da resistência.

4.4. RESULTADOS

Para obter-se os resultados do Índice de Consistência, foram medidos três diâmetros ortogonais da argamassa após deformação pela mesa.

Os resultados das medidas realizadas com paquímetro foram transformados para centímetros e estão relacionados na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados das medidas de diferentes diâmetros ortogonais.

Argamassa	Diâmetro 1 (cm)	Diâmetro 2 (cm)	Diâmetro 3 (cm)	Média Aritm.
Padrão	24,21	24,30	24,46	24,32
15% DG	22,85	22,98	23,32	23,05
30% DG	19,13	19,52	19,80	19,48

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020.

A Figura 13 apresenta a argamassa na mesa de consistência no momento de realizar as medidas.

Figura 13: Mesa de consistência após acionar a manivela.

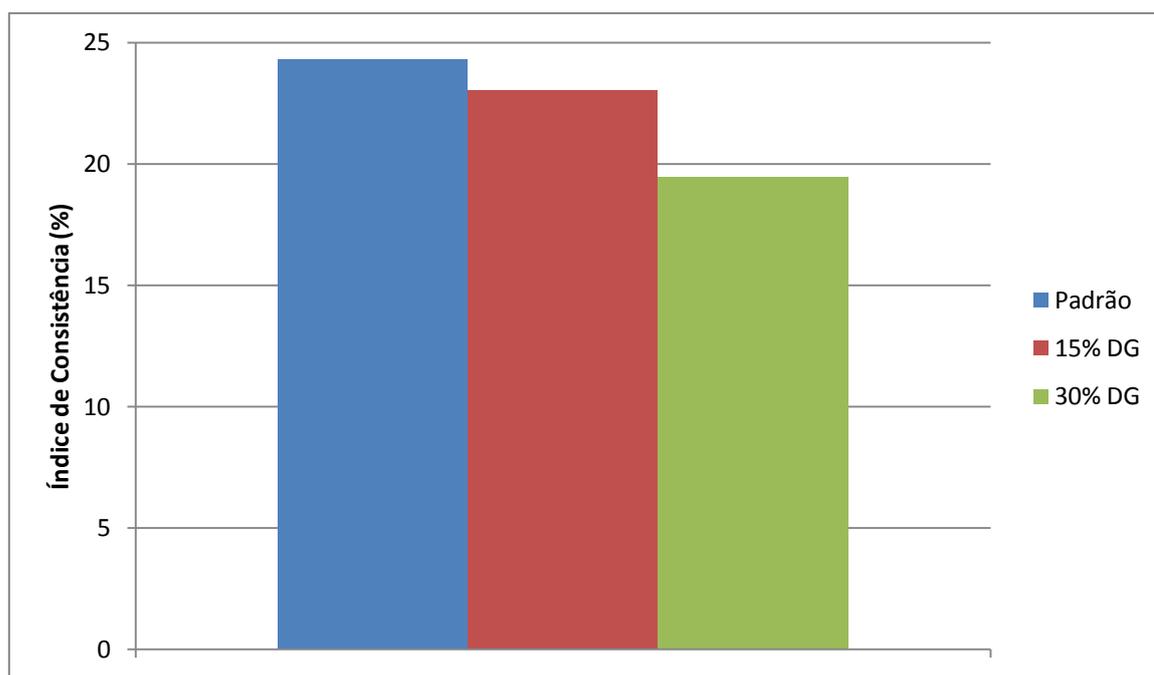


Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020.

Ao analisar o Índice de Consistência da argamassa padrão em comparação às argamassas com presença de resíduos, é possível observar que a argamassa com resíduos apresenta consistência mais seca, porém a variação da consistência em relação à presença de 15 % de dregs + grits (DG) foi pequena.

A Figura 14 mostra o gráfico elaborado com os resultados obtidos no ensaio da mesa de consistência.

Figura 14: Consistência das argamassas.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020.

Com o rompimento dos dois corpos de prova feitos com amostras da argamassa padrão e dos dois corpos de prova de cada tipo de argamassa com presença de resíduos foi feito o cálculo e análise da resistência média à compressão, onde notou-se que com o traço de 15% de dregs + grits, a resistência da argamassa aumentou cerca de 13% em relação à argamassa padrão, porém ao se elevar a quantidade de resíduos para 30%, a resistência caiu cerca de 39%. Sendo assim, pode-se observar que a adição de uma quantidade de DG mais elevada pode não ser viável caso seja necessária uma maior resistência, mas caso seja requerido um menor Índice de Consistência em uma aplicação que não exija uma resistência elevada, é possível se fazer o uso desse traço.

A Tabela 4 apresenta os valores de resistência obtidos.

Tabela 4: Resistência média à compressão.

Argamassa	Resistência Média (MPa)
Padrão	26,84
DG 15%	30,32
DG 30%	16,37

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020.

A Figura 15 mostra o preparo dos corpos de prova para rompimento.

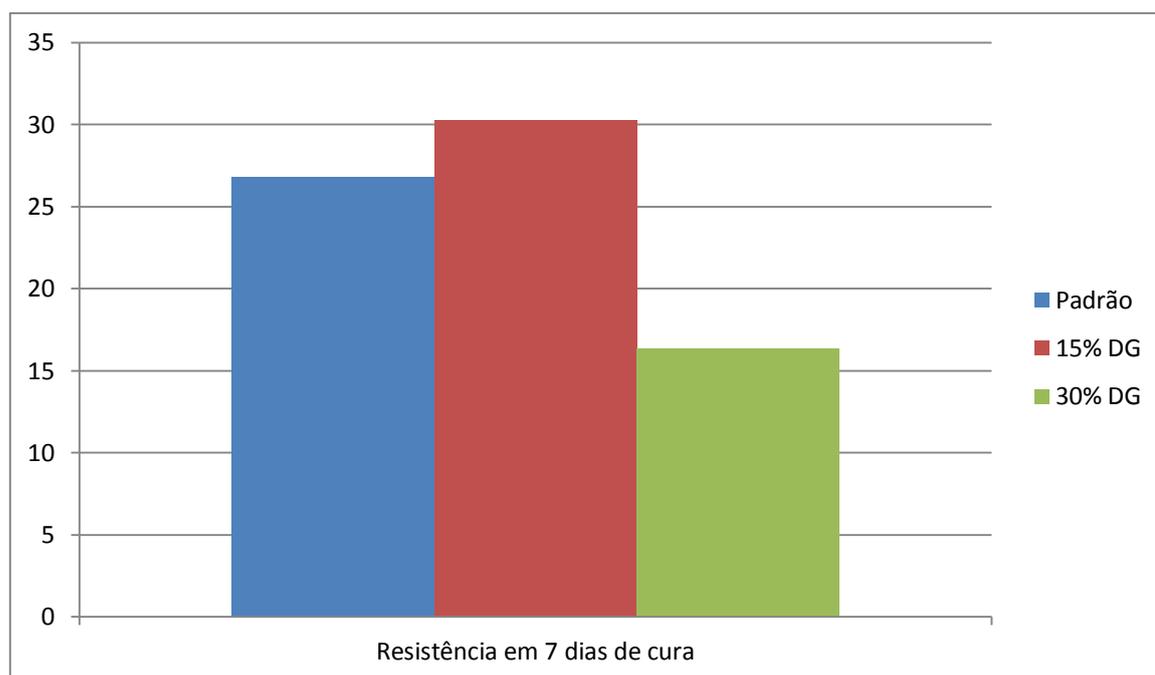
Figura 15: Preparo dos corpos de prova.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020.

Com os resultados obtidos é possível verificar que o uso de dregs + grits pode ser uma alternativa viável e sustentável, uma vez que os resíduos que são reutilizados não causam problemas de sobrecarga de dejetos no nosso planeta.

A Figura 16 apresenta um gráfico comparativo entre as resistências das argamassas no sétimo dia de cura.

Figura 16: Resistência das Argamassas ensaiadas.

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020.

Do ponto de vista técnico, cabe ao engenheiro buscar a melhor solução para suas obras, uma vez que o uso de resíduos pode afetar a resistência e a consistência dependendo do traço escolhido e adequar os traços de acordo com o resultado esperado e a finalidade de utilização da argamassa.

5. CONCLUSÃO

Com a crescente necessidade de tornar o mundo um lugar mais sustentável cada vez mais se tem buscado novas formas de reutilizar os resíduos para que ocorra uma redução do volume de aterros e poluentes, reduzindo os danos à natureza. A construção civil é uma das responsáveis por grandes alterações no meio ambiente e devido a isso, esta área necessita de métodos eficazes para compensar o desgaste causado, tentando conciliar questões ambientais, financeiras e sociais. A maior parte dos resíduos industriais são tratados e devolvidos à natureza, porém o volume de dejetos ainda é um problema.

A celulose é um composto natural extraído dos vegetais e é a matéria prima das indústrias de papel. A preparação da pasta celulósica para papéis ou outros fins consiste na separação das fibras dos demais componentes da planta, especialmente a lignina, que atua ligando as células entre si e proporcionando rigidez à madeira e esse processo de separação gera muitos resíduos.

Com o entendimento do funcionamento da indústria de papel e celulose, do que vem a ser os seus resíduos e de como se dá o tratamento dos mesmos, foi possível analisar a viabilidade do uso desses resíduos na construção civil. É possível fazer o uso desses resíduos para correção do solo para futuras construções, fazer adição em materiais cerâmicos e adição em argamassas.

No presente trabalho, foi feito um ensaio para comparação da consistência da argamassa comum com a argamassa com adição de resíduos e ao se fazer a análise do Índice de Consistência da argamassa padrão em comparação às argamassas com presença de resíduos, a argamassa padrão apresenta um maior índice de consistência, porém a variação da consistência para a presença de 15% de resíduos é relativamente baixa. A argamassa com presença de 30 % de resíduos apresenta consistência mais seca. Essa variação no índice de consistência ocorre devido à menor granulometria dos resíduos em comparação ao agregado miúdo e à maior presença de material orgânico.

Ao se analisar a resistência à compressão, nota-se que com o adição de 15% de dregs e grits, a resistência aumenta cerca de 13% em relação à argamassa padrão e com aumento dos resíduos para 30%, ocorre uma redução na resistência de cerca de 39%.

Com os resultados obtidos foi possível verificar que o uso de dregs + grits como substituto de parte do agregado miúdo pode ser uma alternativa viável tecnicamente, além de ser uma forma sustentável de destinação dos resíduos, uma vez que os resíduos que são reutilizados não causam problemas de sobrecarga de dejetos no nosso planeta.

Contudo, para o bom uso desses resíduos, o engenheiro civil deve considerar a consistência desejada para cada finalidade e a resistência necessária para que se possa adequar a quantidade de resíduos presentes na composição da argamassa, de forma que o uso da argamassa com maior concentração de resíduos seja destinado à obras que não sejam necessários grandes valores de resistência e consistência e o uso de adições de até 15% de resíduos seja feito quando for necessária uma maior resistência sem que tenham-se grandes variações na consistência em relação à uma argamassa padrão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT–Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. 2002.

ALLONDA. **Transformação e reaproveitamento de resíduos industriais**. Disponível em: <<https://allonda.com/solucoes-ambientais/empresa-de-valoracao-e-economia-circular/transformacao-e-reaproveitamento-de-residuos-industriais/>>. Acesso em 24 de nov. de 2019.

BANDEIRA, Z. R. **Utilização racional de resíduos da indústria de celulose como matéria-prima para a construção civil**. Vitória: UFES, 128 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1996.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. BNDES. **60 anos: perspectivas setoriais**. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. v.1, p. 334-381, 2012.

BERG, P; LINGQVIST, O. Pulp, paper, and packaging in the next decade: Transformational change. McKinsey&Company: Paper and Forest Products. 2017.

BOFF, Leonardo. Sustentabilidade: tentativa de definição. **Leonardo Boff**. Disponível em: <<https://leonardoboff.wordpress.com/2012/01/15/sustentabilidade-tentativa-de-definicao/>>. Acesso em 15 de out. de 2019.

CARVALHO, Anderson Luz. **Avaliação das propriedades mecânicas da argamassa contendo adição de resíduo de carbonato de cálcio gerado na fabricação de celulose**. – Salvador, 2006.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Resolução n. 307, 05 de julho de 2002.

CRUZ, Paulo Bastos. Controle ambiental em fábricas de papel e celulose. **ENAP**, 2017. Disponível em: <<https://revista.enap.gov.br/index.php/RSP/article/download/2157/1088>>. Acesso em 20 out. de 2019.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/-index.cfm>>. Acesso em 20 de out. de 2019.

FOELKE, C. **Resíduos Sólidos Industriais do Processo de Fabricação de Celulose Kraft de Eucalipto – Parte 05: Resíduos Minerais**. In: Eucalyptus Online Book & Newsletter. Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 173p. 2011.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. Celulose. **Brasil Escola**. Disponível em:<<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/celulose.htm>>. Acesso em: 18 de nov. de 2019.

GORE, A. An inconvenient truth: the planetary emergency of global warming and what we can do about it. **New York: Rodale**. 2006.

HUSQVARNA. Celulose e os diferentes tipos de papel. 16 de julho de 2015. Disponível em:< <http://www.mundohusqvarna.com.br/assunto/celulose-e-os-diferentes-tipos-de-papel/>>. Acesso em 24 de nov. de 2019.

IBÁ, Indústria de Árvores Brasileiras. Papel e Celulose. **DEPEC – Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos**, 2018. Disponível em: <https://www.economiaemdia.com.br/.../infset_papel_e_celulose.pdf>. Acesso em 18 de out. de 2019.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. Relatório anual de 2017.

MARQUES, J. da C; SCHALCH, V. **Gestão dos resíduos de construção e demolição: Estudo da situação no município de São Carlos-SP**. Revista Engenharia Civil. Brasil. (36), 41-50. 2017.

MARQUES, Maria Lidiane. SILVA, Everton José, VELASCO, Fermin Garcia. **Potencialidades do uso de resíduos de celulose (dregs/grits) como agregado em argamassas.** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.16, n.4, p.423-431, 2014.

MIELI, João Carlos de Almeida. **Sistema de Avaliação Ambiental na Indústria de celulose e Papel.** Tese (Mestrado em Engenharia Química). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/618/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 20 de out. de 2019.

NEVES, Ludmila Carvalho. **Biorreator de membrana: alternativa para o tratamento de efluente de indústrias de papel e celulose,** 2011. Disponível em <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/biorreator-de-membrana-alternativa-para-otratamento-de-efluente-de-industrias-de-papel-e-celulose/>>. Acesso em 20 nov. 2019.

NOLASCO, M. A. **Tratamento aeróbio de efluentes da indústria de Celulose e papel visando uma menor produção de lodo biológico.** In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1997. Foz do Iguaçu. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/biologico.pdf>> Acesso em 12 out. 2020.

OLIVEIRA, J. C. **Indicadores de potencialidades e desempenho de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil em pavimentos flexíveis.** Tese de Doutorado – Departamento de Ciências - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

PINTO, S. J. F. **Valorização de resíduos da indústria da celulose na produção de agregados leves.** Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Cerâmica e de Vidro. Mestrado em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos. Universidade de Aveiro, Aveiro, 2005.

PIOTTO, Z. C. **Eco-eficiência na Indústria de Celulose e Papel - Estudo de Caso**. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

QUINTIERE, Marcelo. **Impactos Ambientais – A Indústria de Papel e Celulose**. 2012. Disponível em: <<https://blogdoquintiere.wordpress.com/2012/11/13/impactos-ambientais-a-industria-depapel-e-celulose/l-e-celulose/>>. Acesso em 20 out. 2019.

RICCHINI, Ricardo. **Reciclagem industrial de papel**, 2017. Disponível em: <<http://www.setorreciclagem.com.br/reciclagem-de-papel/reciclagem-industrial-de-papel/>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

SANTOS, B. P; ALBERTO, A; LIMA, T. D. F. M; CHARRUA-SANTOS, F. M. B. **Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades**. Revista Produção e Desenvolvimento. v.4, n.1, p.111-124, 2018.

SEBRAE. **Gestão de resíduos sólidos**. Disponível em: <<https://ambiental.t4h.com.br/educacao/manuais/gestao-de-residuos-solidos/>> Acesso em: 26 de nov. de 2019.

SILVA, Erica; BRANDÃO, Júlia; MESQUITA, Mirna. **Histórico - Surgimento e Evolução do Setor**, 2016. Disponível em: <<http://economiaindustrialpapelecelulose.blogspot.com/2016/04/1.html>>. Acesso em 18 de out. de 2019.

SWAMY, R. **Vegetable fiber reinforced cement composites – a false dream or a potential reality?** RILEM Proceeding of the 2nd International Symposium on Vegetable Plants and their Fibers as Building Materials, Salvador, Brazil. 1990.

TEIXEIRA, L. A.; SZELIGA, L.; FERNANDES, R. **Siderurgia: Identificação e Controle das emissões e resíduos - Fontes e Controle de Poluição Industrial**. 2007. PUC-RJ. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.dema.puc-rio.br/download/ENG1351%20FCPI%205-Lucianna%20e%20Rodrigo-SIDERURGIA.pdf>> Acesso em 01 out. 2020.

VIEGAS, J. M.; SANTOS, E.; ARNDT, D. **Estação de Tratamento de Efluentes da CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE**. 2010. CELULOSE RIOGRANDENSE. Guaíba.

VON SPERLING, M. **Biological Wastewater Treatment: Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors – Volume 5**. Londres: IWA Publishing, 2007.

ZANELLA, B. P.; Sá, E. B.; Acorinti, N. O.; Trannin, I. C. B.; Simões, S. J. C. **Durabilidade de Argamassa Mista de Revestimento Interno Contendo Dregs-Grits**. 2012. Disponível em: cbecimat.com.br/resumos/trabalhos_completos/105-097.doc. Acesso em 22 out. 2020.