



AVALIAÇÃO DO USO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL COMO AGREGADOS EM PRODUTOS DE MATRIZ CIMENTÍCIA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

¹ Giulia Costa Ghirardi (Senai- CIMATEC) – costa_giulia@hotmail.com; ² Edna dos Santos Almeida (Senai- CIMATEC) – ednasa@fieb.org.br; ³ Larissa da Silva Paes Cardoso (Senai- CIMATEC) – larissa.paes@fieb.org.br;

Resumo: O processo de fabricação da celulose gera grande volume de resíduo e por outro lado, a indústria da construção civil consome muita matéria-prima natural para produção de seus materiais. Desta forma, este trabalho objetivou analisar as contribuições das pesquisas produzidas acerca do uso de resíduos da celulose em produtos de matriz cimentícia para construção civil. Essa análise foi feita através de uma revisão sistemática da literatura disponível em algumas bases de dados, tais como, ScienceDirect, Scopus, Capes e Google Acadêmico. O estudo permitiu concluir que o uso de resíduos da celulose em produtos de matriz cimentícia é ambientalmente viável. Em relação às características técnicas, o uso desse resíduo em produtos de matriz cimentícia é possível, pois as resistências mecânicas atenderam às normas para teores de incorporação de 10 a 20%, contudo é necessário que novas pesquisas sejam feitas para verificar a possibilidade de incorporar um teor maior de resíduos nos produtos.

Palavras-Chaves: Resíduo industrial; DREGS/GRITS; Materiais cimentícios;

EVALUATION OF THE USE OF WASTE FROM THE CELLULOSE AND PAPER INDUSTRY AS ADDED IN CEMENT MATRIX PRODUCTS: A SYSTEMATIC REVIEW

Abstract: The pulp manufacturing process generates a large volume of waste and, on the other hand, the construction industry consumes many natural raw materials for the production of its materials. In this way, this work aimed at the analysis of the research on the use of cellulose residues in products of the cement matrix for civil construction. This analysis was done through a systematic review of the literature available in some databases, such as, ScienceDirect, Scopus, Capes and Google Scholar. The study allowed the use of cellulose waste in matrix products to be environmentally feasible. Regarding the technical characteristics, the use of residues in cement matrix products is possible, since the mechanical resistances are compared to the norms of use of 10 to 20%, but it is necessary that new research is done to verify the possibility of incorporating content products.

Keywords: Industrial waste; DREGS/GRITS; Cement based materials;



1. INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das indústrias propulsoras do desenvolvimento econômico do país, gerando emprego e movimentando o mercado financeiro. Entretanto, essa indústria utiliza muita matéria-prima proveniente de jazida natural e esses materiais utilizados são não renováveis e, portanto finitos. A produção de argamassa responde pelo maior consumo dos agregados, segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral. A produção de concreto usinado consome 25% da areia para construção civil e 17% de brita [1].

Por outro lado, a degradação ambiental causada pela disposição ilegal e/ou inadequada de resíduos, também preocupa. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305, estabelece diretrizes relativas ao gerenciamento dos resíduos, bem como às responsabilidades dos geradores [2]. Por isso, as empresas do setor industrial têm buscado alternativas no que diz respeito ao gerenciamento dos seus resíduos sólidos para atender à lei.

No Brasil, a indústria de celulose e papel ocupa o quarto lugar no ranking dos maiores produtores mundiais, em 2017 e atingiu o volume recorde anual de 19,5 milhões de toneladas [3]. Junto a esses altos índices de produção, estão os altos volumes de geração de resíduos, que ocorrem durante o processo de produção. De acordo com um estudo de caso realizado por Carvalho [4], em uma unidade industrial, para se produzir uma tonelada de celulose, geram-se 200 kg de lama de cal a cada 5 minutos entre outros resíduos.

A principal matéria-prima do papel é a celulose e esta é obtida através de um processo chamado kraft. Este processo consiste das seguintes etapas: cozimento, lavagem, evaporação, combustão, clarificação e caustificação e gera os seguintes resíduos: dregs, lama de cal, grits, cinzas e lodo da estação de tratamento de efluentes [5].

Os dregs resultam do processo de clarificação da decomposição dos constituintes da madeira. É um resíduo rico em cal, sulfatos e compostos de ferro. A lama de cal é um material rico em carbonato de cálcio, gerado no processo de clarificação dos constituintes da madeira. Os grits são resíduos ricos em óxido de cálcio e impurezas do processo da queima da lama de cal e do calcário nos fornos da cal. As cinzas são geradas no processo de combustão, para geração de energia, são constituídas de areia e carvão, geralmente as cinzas são ricas em sílica. Os efluentes hídricos da produção da celulose são enviados a uma estação de tratamento de efluentes (ETE), que gera o lodo [6,7 e 8].

Neste cenário, o desenvolvimento de produtos de matriz cimentícia, utilizando agregados, produzidos através do beneficiamento de resíduos industriais, como os provenientes da indústria da celulose, é de grande interesse tanto para o setor empresarial, como para a sociedade. Por isso, alguns estudos [4-13], vêm sendo desenvolvidos para avaliar o potencial da aplicação desses resíduos na construção civil e esses estudos justificam-se porque a reciclagem de resíduos da indústria da celulose e papel para produção de agregados para produtos de matriz cimentícia tem o potencial para proporcionar um ganho econômico tanto para a construção civil, como para a indústria da celulose, além do evidente benefício ambiental,



tanto pela diminuição dos resíduos gerados quanto pela preservação dos recursos naturais.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar as contribuições das pesquisas produzidas acerca do uso de resíduos da indústria da celulose como agregados em produtos de matriz cimentícia, com vistas a aplicação desse resíduo na construção civil.

3. METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido por meio de uma pesquisa bibliográfica e contemplou aspectos relacionados ao uso de resíduos da indústria de celulose e papel em produtos de matriz cimentícia.

Trata-se de um estudo de revisão sistemática da literatura e a construção deste estudo passou pelas seguintes etapas: identificação do objeto de estudo; formulação da questão norteadora do estudo; identificação das bases de dados a serem consultadas; definição dos descritores; definição dos critérios de inclusão e exclusão dos trabalhos; análise e avaliação de todos os estudos incluídos na revisão; produção de uma síntese das informações e resultados encontrados; e apresentação da revisão.

Os trabalhos foram pesquisados nas seguintes bases de dados: ScienceDirect, Scopus, Capes e Google Acadêmico. Os descritores utilizados foram os seguintes: Industrial waste; DREGS/GRITS; Mortar; Cellulose; Cement; Concrete.

Os critérios de inclusão das publicações foram: artigos, teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso, que abordavam a temática do uso de resíduos da indústria da celulose como agregados em produtos de matriz cimentícia, publicados entre o período de 2000 a 2018, em inglês e/ou português e artigos disponibilizados na íntegra. Foram excluídos todos os trabalhos publicados fora do período e idiomas definidos e os artigos com disponibilidade mediante pagamento. Após a aplicação desses critérios foram selecionados 16 artigos que compõem esta revisão.

Os descritores foram combinados de quatro maneiras e foi utilizado o conectivo and, conforme mostrado na Tabela 1. Dentre os descritores usados, optou-se por utilizar DREGS/GRITS, com a barra separando cada nome dos resíduos, pois além de alguns trabalhos precursores da literatura usarem desta forma o descritor, observou-se que utilizar os nomes separados, poderia dar margem a uma variedade muito grande de trabalhos, que não estão de acordo com o tema pesquisado. A seleção dos artigos foi feita primeiramente pelo título dos trabalhos, sendo incluídos trabalhos cujos títulos se referiam com o tema. A seguir, pelo resumo, em que foram excluídos aqueles que não contribuiriam muito para a revisão.

A busca foi realizada através do acesso *on-line*, nos meses de Março, Abril, Maio, Junho e Julho de 2018 e ela está detalhada na Tabela 1.

Tabela 1. Apresentação da seleção dos artigos segundo Bases de Dados.



Descritores	ScienceDirect	Google Acadêmico	Scopus
	Total de trabalhos/Incluídos	Total de trabalhos/Incluídos	Total de trabalhos/Incluídos
Industrial waste AND DREGS/GRITS AND Concrete	12/1	36/7	Não foi pesquisado
Industrial waste AND Mortar AND DREGS/GRITS	3/0	14/2	2/2
Industrial waste AND Cellulose AND Mortar	6/0	8/1	10/2
Industrial waste AND Cement AND DREGS/GRITS	Não foi pesquisado	60/2	6/1

Dos trabalhos encontrados na base de dados da Capes, dois poderiam ter sido incluídos, mas não foram porque estavam indisponíveis. Dos 16 estudos incluídos na revisão sistemática, nove são artigos científicos, seis dissertações de mestrado e um trabalho de conclusão de curso.

Dentre os autores estudados, Zanella, P.B, destaca-se por ter o maior número de trabalhos, dentre os selecionados na revisão, sendo três publicações do referido autor, dois artigos científicos e uma dissertação de mestrado.

Dos trabalhos analisados, 12 foram sobre a incorporação de resíduos da indústria da celulose em argamassa e quatro estudaram em clínquer. Não foram encontrados trabalhos que avaliaram o uso desses resíduos em concreto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características dos resíduos da indústria de celulose e papel

Com base na literatura analisada, os resíduos provenientes da indústria da celulose são classificados como não perigosos pertencentes à classe II A, estabelecida pela NBR 10.004 [14]. Os resultados mostraram que há um predomínio de óxido de cal, CaO, nesses resíduos. Além disso, também estão presentes elementos como: dióxido de silício (SiO₂), óxido de alumínio (Al₂O₃) e óxido de ferro (Fe₂O₃), nos resíduos estudados, isso revela uma compatibilidade química com as matérias-primas tradicionalmente usadas na produção de materiais cimentícios [8,9,11,15,16].

A lama de cal é um resíduo com um alto teor de umidade e matéria orgânica (fibras orgânicas vegetais). A presença dessas fibras confere às argamassas produzidas com essa matéria-prima, uma menor retração plástica por secagem, além de uma diminuição da velocidade de propagação das fissuras. O trabalho de Azevedo *et al.* [11], testou a atividade pozolânica desse resíduo, através da variação da condutividade elétrica em um hidróxido de cálcio saturado durante determinado período de tempo, o resultado mostrou que esse resíduo pode ter propriedades



próximas às pozolanas, o que é uma vantagem no incremento do mesmo à mistura de argamassa. O lodo da ETE mostrou-se um material também bastante úmido e com matéria inorgânica, caulim, que tende a diminuir a porosidade da argamassa; além da presença também das fibras de celulose que diminuem as microfissuras [7]. A lama de cal e o lodo da ETE podem ser observados na figura 1.

Figura 1- Resíduos da indústria da celulose- Lodo de ETE e lama de cal.



Fonte: Adaptado de Paiva [7] e Buruberi [12]

Os dregs e grits são compostos principalmente de carbonato de cálcio e revelaram um alto teor de matéria orgânica. A composição desses resíduos pode contribuir com o aumento da resistência mecânica das argamassas, embora a resistência final deste material não dependa apenas desse fator [4, 8, 19]. A mistura dos resíduos dregs e grits pode ser observada na Figura 2.

Figura 2- Resíduo da indústria da celulose- Dregs/Grits



Fonte: Adaptado de Marques [6]

4.2 Características da argamassa contendo resíduos da indústria de celulose e papel

Em relação às características das argamassas produzidas com incremento de resíduos da indústria de celulose e papel à mistura, no estado fresco, apresentaram trabalhabilidade satisfatória de acordo com Marques *et al.* [6]. Dois estudos mostraram que em relação à consistência da argamassa, o teor ideal de substituição de agregado natural por dregs e grits ou lodo é de 10 %. O teor de ar incorporado, bem como parâmetros de retenção de água também atenderam os limites da norma, nas argamassas com traços de até 10% de resíduos da celulose [6,11].

Em relação às características analisadas no estado endurecido dessas argamassas, elas atendem à norma NBR 13279– Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração da flexão e



à compressão [20], quanto à resistência à compressão; e no estudo Marques *et al.* [6] atinge valores de resistência até maiores que os valores atingidos por traços de argamassa padrão. Esse desempenho positivo, porém, é encontrado em argamassas com traços de até 10% de substituição, conforme aumenta o teor de resíduo da celulose à mistura, os valores de resistência à compressão diminuem [6, 8, 11, 15]. No estudo de Paiva [7], observou-se que traços com até 12% de incorporação atenderam à normal. Para essa mesma característica Carvalho [4], observou que o aumento do incremento da lama de cal à mistura de argamassa confere uma maior resistência à compressão até 28% de substituição. O estudo feito por Lébeis [13], mostrou que um incremento de 5% de resíduo nos corpos-de-prova de argamassa, resulta em uma resistência à compressão maior que nos corpos-de-prova sem resíduo. Nesse estudo o compósito com até 10% de incremento também apresentou um bom desempenho na resistência à compressão, contudo, a partir disso o aumento do teor de adição desses resíduos, diminuiu a resistência. Em relação à resistência à tração, Zanella [8], observou que uma substituição de até 20% de resíduo de celulose (dregs e grits), não interfere nessa propriedade, sendo viável o uso.

Dos estudos analisados nesta revisão sistemática, quatro avaliaram a durabilidade das argamassas contendo resíduos da indústria de celulose e papel. O trabalho de Zanella [17] simulou condições naturais através dos seguintes testes em argamassas contendo de 10 a 20% de dregs e grits: teste de radiação ultravioleta; ataque de pulverização (teste de névoa salina); aquecimento natural das paredes e incidência solar indireta no teto (degradação térmica); e teste termogravimétrico, conforme as normas. Os resultados desses testes mostraram durabilidade dessa argamassa similar à argamassa tradicional. Em ambientes salinos, entretanto, a argamassa contendo resíduo de celulose, mostrou-se menos resistente, isso se deve ao fato de os resíduos dregs/grits favorecerem a permeabilidade do cloreto. O estudo de Azevedo [11] investigou a durabilidade de argamassa produzidas substituindo a cal, por logo da ETE, nas proporções: 5%, 10%, 15% e 20%. Após os testes, através de uma análise visual da degradação das argamassas confirmou que a adição de logo de ETE acima de 15% não atendem às recomendações para aplicações na construção civil.

O terceiro trabalho que avaliou a durabilidade dessas argamassas testou argamassas contendo teores de 10 e 20% de dregs e grits [18]. Os testes foram semelhantes aos anteriores e os resultados mostram que a durabilidade dessas argamassas é semelhante às argamassas tradicionalmente usadas. A argamassa com 20% de resíduos apresentou uma maior porosidade, que pode contribuir para fissuração e conseqüentemente para o aumento da velocidade de degradação. O último estudo, Azevedo [21], testou o efeito da molhagem durante a secagem na durabilidade de argamassas contendo de resíduo da celulose. Os corpos-de-prova contendo 5 e 10% de incorporação apresentaram resultados satisfatórios em relação à durabilidade, ficando próximo dos resultados obtidos com argamassa padrão. Já para o traço com 20%, apresentou uma maior perda de massa, mostrando-se ser menos durável. Isso pode estar relacionado à maior permeabilidade apresentada por argamassas com esse teor de substituição.



4.3 Características do Clínquer contendo resíduos da indústria da celulose e papel

O clínquer é uma das matérias-primas à produção do cimento usado na construção civil. Ele é obtido através da calcinação de calcário, argila e outros componentes químicos. Quatro dos 16 trabalhos analisados nessa revisão sistemática avaliaram a incorporação de resíduos da indústria da celulose e papel, na produção de clínquer de cimento [5, 9, 12, 19].

Os resultados mostraram que é possível obter clínqueres a partir dos resíduos da indústria da celulose, pois a incorporação dos mesmos na produção de clínquer não gera mudanças significativas no produto final, quando comparado ao clínquer padrão [19]. Esses resíduos possuem os elementos necessários à clínquerização, tais como, dióxido de silício (SiO_2), óxido de alumínio (Al_2O_3) e óxido de cálcio (CaO), o que viabiliza tecnicamente o uso [5]. Os estudos de Buruberry [9, 12] mostraram que a temperatura máxima do forno usada para a fabricação do clínquer, foi menor quando se incorporou resíduo da celulose à mistura. Além disso, observou-se que a presença do cloreto nesses resíduos, não afetou o clínquer no que diz respeito à durabilidade do produto, pois os cloretos foram quase totalmente eliminados durante o tratamento térmico [9, 12].

5. CONCLUSÃO

Os trabalhos analisados nesta revisão sistemática confirmam a viabilidade da incorporação de resíduos da indústria de celulose e papel como agregados em produtos de matriz cimentícia.

Os resíduos provenientes dessa indústria têm composição compatível com as matérias-primas tradicionalmente usadas na produção de argamassa. Em relação às características das argamassas no estado fresco e endurecido, o uso desses resíduos mostrou-se viável para teores de incorporação de 10 a 20%. O uso em outros produtos como clínquer também mostrou-se tecnicamente viável para teores de até 15% de substituição.

Embora existam trabalhos que estudam a viabilidade do uso de resíduos da celulose em produtos de matriz cimentícia, observa-se que a pesquisa nessa área ainda não está consolidada. São necessários estudos para elaboração e aperfeiçoamento do traço, a fim de se buscar um valor ótimo de incorporação; testes de resistência de aderência à tração; influência do teor de sulfatos dos resíduos na resistência mecânica das argamassas; e avaliação do uso de algum tipo de aditivo ou algum produto similar, para que se possa incorporar maiores teores de resíduos da indústria da celulose em produtos de matriz cimentícia.

6. REFERÊNCIAS

¹ BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário mineral**. Coordenadores: Thiers Muniz Lima e Carlos Augusto Ramos Neves. Brasília: DNPM, 2014

² BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei n. 12.305, de 2 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, 2010.

³ ÁRVORES, Iba- Indústria Brasileira de. **Dados e Estatísticas**. 2015. Disponível em: <<http://iba.org/pt/dados-e-estatisticas>>. Acesso em: 09 jul. 2018.



- ⁴ CARVALHO, Anderson Luz de. **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA ARGAMASSA CONTENDO ADIÇÃO DE RESÍDUO DE CARBONATO DE CÁLCIO GERADO NA FABRICAÇÃO DE CELULOSE**. 2006. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.
- ⁵ SIMÃO, Lisandro. **DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE ECOCLÍNQUER OBTIDO A PARTIR DE RESÍDUOS DO SETOR DE PAPEL E CELULOSE**. 2016. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2016.
- ⁶ MARQUES, M.I. et al. 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, 30 dez. 2014.
- ⁷ PAIVA, Samantha Nazaré de. **Compósito de cimento-lodo de ETE de indústria de papel para aplicação na construção civil**. 2007. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- ⁸ ZANELLA, Bruno Pavanelli. **Aproveitamento de resíduos da indústria da celulose e papel em argamassa mista de revestimento interno**. 2011. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2011.
- ⁹ BURUBERRI, Leire H.; SEABRA, M.p.; LABRINCHA, J.a.. Preparation of clinker from paper pulp industry wastes. **Journal Of Hazardous Materials**. Portugal, p. 252-260. dez. 2015.
- ¹⁰ YAN, Shiqin; SAGOE-CRENTSIL, Kwesi. Properties of wastepaper sludge in geopolymer mortars for masonry applications. **Journal Of Environmental Management**, [s.l.], v. 112, p.27-32, dez. 2012. Elsevier BV.
- ¹¹ AZEVEDO, Afonso R.g. de et al. Recycling paper industry effluent sludge for use in mortars: A sustainability perspective. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 192, p.335-346, ago. 2018. Elsevier BV.
- ¹² BURUBERRI, Leire Hernando. **Uso de lamas e cinzas da indústria da celulose em clínquer**. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro.
- ¹³ LÉBEIS, Vinícius Donizetti Lepri. **Viabilidade do uso do resíduo da fabricação de papel em argamassa**. 2003. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- ¹⁴ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004**: Classificação dos resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- ¹⁵ ZANELLA, Bruno Pavanelli; TRANNIN, Isabel Cristina de Barros. Recycling Residues From the Pulp and Paper Industries in the Civil Construction. **EJGE**, São Paulo, v. 20, n. 3, p.1115-1128, dez. 2014.
- ¹⁶ MYMRIN, Vsévolod et al. UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE PRODUÇÃO DE PAPEL E CELULOSE PARA FABRICAÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO AMBIENTALMENTE LIMPOS. **Forum Internacional de Resíduos Sólidos**, Curitiba, v. 8, n. 1, p.1-13, jun. 2017.
- ¹⁷ ZANELLA, B.P et al. DURABILITY OF MIXED MORTAR LINING CONTAINING DREGS-GRITS. **American Journal Of Environmental Sciences**, [s.l.], v. 10, n. 1, p.44-47, 1 jan. 2014. Science Publications.
- ¹⁸ MÜLLER, Laura Masteguim. **DURABILIDADE DA ARGAMASSA MISTA DE REVESTIMENTO INTERNO CONTENDO DREGS-GRITS EM SUBSTITUIÇÃO À AREIA**. 2012. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.
- ¹⁹ CASTRO, Fernando et al. Utilisation of pulp and paper industry wastes as raw materials in cement clinker production. **Int. J. Materials Engineering Innovation**, Portugal, v. 1, n. 1, p.74-90, nov. 2009.
- ²⁰ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração da flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.
- ²¹ AZEVEDO, Afonso Rangel Garcez de et al. ESTUDO DO EFEITO DE CICLOS DE MOLHAGEM E SECAGEM NA DURABILIDADE DE ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DA PRODUÇÃO DE PAPEL. **Anual da Abm**, São Paulo, v. 72, n. 1, p.3042-3047, nov. 2017.