

Ciência e Engenharia de Materiais

3

Marcia Regina Werner Schneider Abdala
(Organizadora)



 **Atena**
Editora

Ano 2018

MARCIA REGINA WERNER SCHNEIDER ABDALA

(Organizadora)

Ciência e Engenharia de Materiais

3

Atena Editora

2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

C569 Ciência e engenharia de materiais 3 [recurso eletrônico] / Marcia Regina Werner Schneider Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Ciência e Engenharia de Materiais; v. 3)

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-85-85107-65-9
DOI 10.22533/at.ed.659183010

1. Engenharia. 2. Materiais I. Abdala, Marcia Regina Werner Schneider. II. Série.

CDD 620.11

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Você já percebeu a importância dos materiais na sua vida diária? Os materiais estão provavelmente mais imersos na nossa cultura do que a maioria de nós imagina. Diferentes segmentos como habitação, saúde, transportes, segurança, informação/comunicação, vestuário, entre outros, são influenciados em maior ou menor grau pelos materiais.

De fato a utilização dos materiais sempre foi tão importante que os períodos antigos eram denominados de acordo com os materiais utilizados pela sociedade primitiva, como a Idade da Pedra, Idade do Bronze, Idade do Ferro, etc.

A humanidade está em constante evolução, e os materiais não são exceções. Com o avanço da ciência e da tecnologia a cada dia surgem novos materiais com características específicas que permitem aplicações pormenorizadas e inovação nas mais diferentes áreas.

Todos os dias centenas de pesquisadores estão atentos ao desenvolvimento de novos materiais e ao aprimoramento dos existentes de forma a integrá-los em tecnologias de manufatura economicamente eficientes e ecologicamente seguras.

Estamos entrando em uma nova era caracterizada por novos materiais que podem tornar o futuro mais fácil, seguro e sustentável. O campo da Ciência e Engenharia de Materiais aplicada está seguindo por novos caminhos. A iminente escassez de recursos está exigindo inovações e ideias criativas.

Nesse sentido, este livro evidencia a importância da Ciência e Engenharia de Materiais, apresentando uma coletânea de trabalhos, composta por quatro volumes, que permitem conhecer mais profundamente os diferentes materiais, mediante um exame das relações entre a sua estrutura, as suas propriedades e o seu processamento.

Considerando que a utilização de materiais e os projetos de engenharia mudam continuamente e que o ritmo desta mudança se acelera, não há como prever os avanços de longo prazo nesta área. A busca por novos materiais prossegue continuamente...

Boa leitura!

Marcia Regina Werner Schneider Abdala

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE AGREGADOS DE ESCÓRIA DE ACIARIA LD PÓS-PROCESSADA PARA CONCRETOS SUSTENTÁVEIS	
<i>Bárbara Ponciano de Souza</i>	
<i>Wanna Carvalho Fontes</i>	
<i>José Maria Fontes de Carvalho</i>	
<i>Rosana Marcia de Resende Mol</i>	
<i>Ellen Cristine Pinto da Costa</i>	
<i>Ricardo André Fiorotti Peixoto</i>	
CAPÍTULO 2	12
ANÁLISE MICROESTRUTURAL E FÍSICO-QUÍMICA DE RESÍDUO DE SEIXO PARA UTILIZAÇÃO COMO AGREGADO MIÚDO	
<i>Marco Antonio Barbosa de Oliveira</i>	
<i>Kleber Roberto Matos da Silva</i>	
<i>Vitória Santos Barroso</i>	
<i>José de Ribamar Mouta Araújo</i>	
<i>Marcelo de Souza Picanço</i>	
CAPÍTULO 3	25
PROPRIEDADES MECÂNICAS E MORFOLOGIA DA FRATURA DE CONCRETO COM RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEUS DO PROCESSO DE RECAPAGEM	
<i>Fábio Santos de Sousa</i>	
<i>Edwillson Gonçalves de Oliveira Filho</i>	
<i>César Tadeu Nasser Medeiros Branco</i>	
<i>Laércio Gouvêa Gomes</i>	
CAPÍTULO 4	33
PLANEJAMENTO FATORIAL PARA ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE AGREGADOS DE RESÍDUOS CIMENTÍCIOS	
<i>Jonath Oliveira do Nascimento</i>	
<i>Bruno Diego de Moraes</i>	
<i>Marcos Mattheus Lopes da Silva</i>	
<i>Felipe Lira Formíga Andrade</i>	
CAPÍTULO 5	44
ESTUDO DO EFEITO DA RADIAÇÃO UV EM COMPOSTOS DE POLIETILENO COM ADITIVOS OXI-BIODEGRADANTES	
<i>Caroline Henrique de Souza Borba</i>	
<i>Zora Ionara Gama dos Santos</i>	
<i>Raul Franklin Andrade Santos</i>	
<i>Grazielle Rozendo de Cerqueira</i>	
CAPÍTULO 6	54
USO DO PÓ DA PALHA DE CARNAÚBA COMO IMPERMEABILIZANTE EM TIJOLO DE SOLO-CIMENTO	
<i>Ana Raira Gonçalves da Silva</i>	
<i>Marília Pereira de Oliveira</i>	
<i>Marineide Jussara Diniz</i>	
CAPÍTULO 7	61
EVALUATION OF THE COLOR CHANGES IN ARTIFICIALLY AGED PINE	
<i>Tiago Hendrigo de Almeida</i>	
<i>Diego Henrique de Almeida</i>	
<i>André Luis Christóforo</i>	
<i>Francisco Antonio Rocco Lahr</i>	

CAPÍTULO 8 66

COLORIMETRIC PARAMETERS OF BRAZILIAN TROPICAL WOOD SPECIES

Diego Henrique de Almeida
Tiago Hendrigo de Almeida
Francisco Antonio Rocco Lahr
André Luis Christoforo

CAPÍTULO 9 70

ABSORÇÃO DE ÁGUA E CARACTERÍSTICAS SUPERFICIAIS DO RESÍDUO DE FIBRA DE PIAÇAVA MODIFICADO COM ÁGUA MORNA

JanettyJany Pereira Barros
Danusa de Araújo Moura
Camila Gomes Moreno
Fabiana de Carvalho Fim
Eduardo Braga Costa Santos
Lucineide Balbino da Silva

CAPÍTULO 10 82

CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUO PROVENIENTE DA PRODUÇÃO DE BREU E TEREBINTINA A PARTIR DA GOMA RESINA DE *PINUS SP.* E IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS ADVINDAS DA SUA UTILIZAÇÃO PARA FINS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA

Juliana Esteves Fernandes Cieslinski

CAPÍTULO 11 93

ESTUDO DA INTEGRIDADE E DURABILIDADE DE MATERIAIS ESTABILIZADOS POR SOLIDIFICAÇÃO CONTENDO LODO DE CURTUME

Maria Rosiane de Almeida Andrade
Marília Claudino Moreira Cunha
André Luiz Fiquene de Brito
Ana Cristina Silva Muniz
Bianca Viana de Sousa Barbosa
Carlos Eduardo Pereira

CAPÍTULO 12 104

TESTE DE ATIVIDADE E EFICÁCIA DE AGENTES BIOCIDAS EM TINTA ACRÍLICA

Túlio Valério Agostinho da Silva
Sara Horácio de Oliveira
Magda Rosângela Santos Vieira
Ildnay de Souza Lima Brandão

CAPÍTULO 13 112

ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA FIBRA CALOTROPIS PROCERA E SUA POTENCIAL APLICAÇÃO NA REMOÇÃO DE HIDROCARBONETOS E DERIVADOS

Anaxmandro Pereira da Silva
Erick Buonora Tabosa do Egíto
Késia Karina de Oliveira Souto Silva
Rasiah Ladchumananandasivam
José Heriberto Oliveira do Nascimento
Ana Rita Leandro dos Santos

CAPÍTULO 14 118

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL POZOLÂNICO DA MICROSSÍLICA COM ALTO TEOR DE CARBONO: ANÁLISE QUÍMICA, MINERALÓGICA E MECÂNICA

Ruan Landolfo da Silva Ferreira
Marcos Alyssandro Soares dos Anjos
Andreza Kelly Costa Nóbrega

CAPÍTULO 15..... 129

INFLUÊNCIA DA IMPREGNAÇÃO CONTRA DEMANDA BIOLÓGICA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS MADEIRAS DE CEDROARANA (*CEDRELINGA CATENAEFORMIS*)

Andréa de Souza Almeida

Tiago Hendrigo de Almeida

Francisco Antonio Rocco Lahr

André Luis Christoforo

CAPÍTULO 16..... 139

ESTUDO DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM EFLUENTES REFRAATÓRIOS POR PROCESSO FENTON PARA DEGRADAÇÃO E MINERALIZAÇÃO DESSES COMPOSTOS EM REATOR DE ESCALA LABORATORIAL MODELO PARR

Camila Freire Berenguer

Yana Batista Brandão

Mohand Benachour

CAPÍTULO 17 156

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÓLEOS DE TRANSFORMADORES POR ESPECTROSCOPIA FTIR/ATR E ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

Isabela Nogueira

Maísa Maciel Machado Santos

Thiago Arantes Nogueira

Estácio Tavares Wanderley Neto

Credson de Salles

Tessa Martins de Carvalho Carneiro

Álvaro Antônio Alencar de Queiroz

SOBRE A ORGANIZADORA 171

ESTUDO DA INTEGRIDADE E DURABILIDADE DE MATERIAIS ESTABILIZADOS POR SOLIDIFICAÇÃO CONTENDO LODO DE CURTUME

Maria Rosiane de Almeida Andrade

Universidade Federal de Campina Grande,
Unidade Acadêmica de Engenharia Química
Campina Grande – Paraíba

Marilia Claudino Moreira Cunha

Universidade Federal de Campina Grande,
Unidade Acadêmica de Engenharia Química
Campina Grande – Paraíba

André Luiz Fiquene de Brito

Universidade Federal de Campina Grande,
Unidade Acadêmica de Engenharia Química
Campina Grande – Paraíba

Ana Cristina Silva Muniz

Universidade Federal de Campina Grande,
Unidade Acadêmica de Engenharia Química
Campina Grande – Paraíba

Bianca Viana de Sousa Barbosa

Universidade Federal de Campina Grande,
Unidade Acadêmica de Engenharia Química
Campina Grande – Paraíba

Carlos Eduardo Pereira

Universidade Federal de Campina Grande,
Unidade Acadêmica de Engenharia Química
Campina Grande – Paraíba

RESUMO: O lodo de curtume, resíduo da indústria do couro, é gerado a partir da decantação dos banhos residuais do processamento do couro e é contaminado com metais pesados, o que impede sua disposição no meio ambiente sem

tratamento prévio. Neste contexto, este trabalho visa realizar o tratamento do lodo de curtume utilizando a estabilização por solidificação, técnica que restringe a mobilidade dos contaminantes. O trabalho foi dividido em quatro etapas: caracterização do resíduo e do cimento, elaboração do planejamento experimental, preparação dos corpos de prova e avaliação do material. As matrizes foram avaliadas quanto à resistência a compressão, em que nenhum dos tratamentos atingiram o valor mínimo de 1Mpa; capacidade de absorção de água, onde todos os tratamentos foram aprovados, não atingindo a capacidade máxima de água nos poros de 40%; e umidificação e secagem, em que nenhum tratamento apresentou uma perda de água maior que 15%, estando todos aprovados.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilização, solidificação, resíduo.

ABSTRACT: The tannery sludge, leather industry waste, is generated from the decanting of residual baths of leather processing and is contaminated with heavy metals which prevent its disposal into the environment without treatment. In this context, this study aims at the treatment of tannery sludge using the technique of stabilization by solidification that restricts the mobility of contaminants. The work was divided into four stages: characterization of the waste and cement, preparation of experimental design,

preparation of test bodies and evaluation of the material. Matrices were evaluated for compressive strength, in which none treatment reached the minimum value of 1Mpa; capacity of water absorption, where all treatments were approved, not reaching the maximum water capacity in the pores of 40%; and wetting and drying, in which none treatment showed a loss of water greater than 15%, with all approved.

KEYWORDS: Stabilization, Solidification, waste.

1 | INTRODUÇÃO

A Resolução CONAMA n° 313/2002 e a ABNT NBR 10.004 (2004) define resíduo sólido industrial como sendo todo resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semi-sólido, gasoso -quando contido-, e líquido, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

A indústria de curtume é responsável pela geração de resíduos os quais são lançados inadequadamente ao meio ambiente. Esses resíduos são considerados tóxicos e nocivos ao meio ambiente.

A indústria de Curtume utiliza o cromo como curtente, para evitar a putrefação do couro. Normalmente, o composto utilizado é o sulfato básico de cromo, $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$, em que o cromo apresenta-se na sua forma trivalente. Os banhos residuais do processamento do couro são tratados e o cromo presente é removido por processo de decantação, o qual gera um resíduo sólido denominado lodo primário. Além do cromo o lodo apresenta também, cádmio, cobre, zinco, ferro e alumínio (LEAL, 2008).

O lodo do curtume é caracterizado por conter concentração mais elevadas de cargas poluidoras do que os efluentes líquidos e possuem alto poder de contaminação, quando não são tratados e dispostos em corpos d'água, aterros industriais ou mesmo lixeiras clandestinas. O cromo atinge com facilidade os lençóis freáticos, reservatórios e rios que são as fontes de abastecimento de água das cidades. Quando em contato com solo, o cromo é absorvido pelo solo e contamina plantas que posteriormente servirão de alimento diretamente para o homem ou animais, podendo por este caminho também atingir o ser humano.

O cromo produzido na indústria é um carcinógeno humano e muitos trabalhadores são expostos a este elemento químico. A fumaça contendo este elemento químico causa uma variedade de doenças respiratórias. O contato da pele com compostos de cromo causa dermatite alérgica e, mais raramente, pode provocar ulcerações na pele formando cicatrizes e até perfurações do septo nasal.

Devido aos impactos ambientais e a saúde humana, causado pelo descarte inadequado do lodo de curtume, se faz necessário realizar o tratamento deste resíduo antes da sua disposição final. Neste contexto destaca-se a estabilização por

solidificação, tecnologia que usa ligantes para reduzir a mobilidade e toxicidade dos poluentes contidos nos resíduos, e gerar um produto final que pode ser reutilizado ou depositado em aterros.

Estabilização refere-se à técnica que reduz quimicamente o risco de lixiviação dos contaminantes, convertendo-os em formas menos solúveis, móveis e tóxicas. Enquanto que a solidificação refere-se à técnica que encapsula o resíduo, formando um material sólido, e não envolve necessariamente uma interação química entre os contaminantes e os ligantes da solidificação (MONTAÑÉS, SÁNCHEZ-TOVAR e ROUX, 2014).

Diante deste contexto, este trabalho tem como objetivo realizar o tratamento do lodo de curtume contaminado com cromo, utilizando a estabilização por solidificação, convertendo o lodo de um resíduo perigoso em não perigoso.

2 | METODOLOGIA

2.1 Caracterização do resíduo e do aglomerante

O lodo de curtume e o cimento Portland comum foram caracterizados através das análises de sólidos totais, umidade, ph, lixiviação e solubilização.

A determinação dos sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis permite verificar respectivamente a massa percentual de resíduo; elementos que não se volatilizam a temperatura de 550°C e teor de matéria orgânica presente no resíduo. Utilizou-se o método gravimétrico Standard Methods (1992), onde inicialmente pesou-se 25 gramas do material e enviou-o para estufa por 24 horas à temperatura de 103-105 °C. Retirou-se a material, deixou esfriar no dessecador e pesou novamente. Em seguida, o material foi levado para incinerar a temperatura de 550 °C no forno mufla por 1 hora. A amostra foi esfriada no dessecador, e então se realizou uma nova pesagem. Os resultados para sólidos totais, fixos e voláteis, foram calculados através das seguintes equações.

$$SólidosTotais(\%) = \left[\frac{(A - B)}{(C - B)} \right] * 100 \quad (1)$$

$$SólidosVoláteis(\%) = \left[\frac{(A - D)}{(A - B)} \right] * 100 \quad (2)$$

$$SólidosFixos(\%) = \left[\frac{(D - B)}{(A - B)} \right] * 100 \quad (3)$$

Onde: A: peso da amostra seca + cápsula; B : peso da cápsula; C : peso da amostra úmida + cápsula; D : peso do resíduo calcinado + cápsula.

A determinação do pH (potencial hidrogeniônico) da amostra foi executada

a partir do material com sua umidade natural. Para determinação deste parâmetro, utilizou-se o método eletrométrico.

Para realização do ensaio de lixiviação, uma amostra representativa de 100g (base seca) do material foi colocada em frasco de 2 L com água destilada e uma solução lixiviante de ácido acético glacial e água. Depois, a amostra com a solução lixiviante foi submetida à agitação por um período de 18h.

No ensaio de solubilização, uma amostra representativa de 250 g (base seca) do material foi colocada em frasco de 1,5 L. Em seguida, foi adicionado 1 L de água, deionizada e isenta de orgânicos. Os metais foram quantificados após repouso por 7 dias, em temperatura de 25°C.

Foi utilizada a técnica de Espectrometria de Absorção Atômica (AAS) para determinar a concentração dos contaminantes. As concentrações do lixiviado e do solubilizado em mg.kg^{-1} foram obtidas após a determinação do contaminante em mg.L^{-1} e a sua relação com: a massa da amostra e o volume da solução lixiviante usada no ensaio de lixiviação e solução solubilizante usada no ensaio de solubilização em kg.L^{-1} .

2.2 Planejamento Experimental

Foi adotado um planejamento experimental fatorial 2^2 com 3 pontos centrais, onde as variáveis avaliadas foram: percentual de lodo de curtume (15 e 25%) e tempo de cura (07 e 28 dias). O critério de decisão adotado para determinação do modelo foi o seguinte:

- Efeito Significativo ($\text{valor } p \leq 0,05$): Médias diferentes ao nível de 95% de Probabilidade;
- Efeito Não Significativo ($\text{valor } p > 0,05$): Médias iguais ao nível de 95% de Probabilidade.

2.3 Preparação dos corpos de prova

Os corpos de provas contendo o lodo de curtume foram preparados utilizando como aglomerantes o cimento Portland comum e areia. Para preparação foram seguidas as etapas propostas pela ABNT NBR 7215 (1996) e pelo o Protocolo de avaliação de materiais estabilizados por solidificação (BRITO, 2007) que sugere como parâmetros básicos para realização dos ensaios em laboratórios: um tempo de moldagem de 24 horas, dimensões dos moldes de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, umidade relativa entre 50 a 100%. Inicialmente, misturou-se o aglomerante com o resíduo e água e após completa homogeneização, a massa formada foi disposta em moldes cilíndricos. Os corpos de prova ficaram em repouso por um período de 24 horas para endurecimento da pasta e após as 24h, estes foram desmoldados e deixados por tempos determinados de cura, para que então os ensaios de avaliação do material fossem realizados.

2.4 Avaliação dos Materiais Estabilizados por Solidificação

Para avaliar a integridade e a durabilidade do material foram realizados os ensaios de Resistência à Compressão (RC) segundo a ABNT NBR 7215 (1996), que avalia a capacidade do material em resistir a diferentes cargas de compressão mecânica, sem que haja rupturas. Capacidade de absorção de água (CAA) conforme ABNT NBR 9778 (1987) “Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica”, que avalia a porosidade do material endurecido ou E/S. E umidificação e secagem (U/S) segundo WTC (1991), que consiste em simular e avaliar o material resultante do procedimento de E/S, em relação à sua capacidade em resistir às variações de mudanças de estado.

No ensaio de resistência à compressão, foram utilizados corpos de prova cilíndricos, os quais foram postos diretamente sobre o prato inferior de uma prensa, de maneira que ficassem rigorosamente centrados em relação ao eixo de carregamento. A medida da resistência à compressão foi calculada pela expressão 4, em kgf.cm^2 , considerando a carga aplicada (F) e a área da seção do corpo de prova (A), e convertida para MPa.

$$RC = \frac{F}{A} \quad (4)$$

No ensaio de capacidade de absorção de água os corpos de provas foram condicionados em estufa a 103 °C por 24 horas e com uma relação líquido/sólido (L/S) 10:1. Posteriormente as amostras foram imersas em água a 23 °C por períodos de 24, 48 e 72 horas. O resultado é expresso em % conhecendo-se a massa do corpo de prova após saturação em água e a massa do corpo de prova seca em estufa.

No ensaio de umidificação e secagem os corpos de prova foram submetidos a seis ciclos de umidificação com água a 22 °C e secagem em estufa sob temperatura de 105 °C e umidificação por 24 horas.

3 | RESULTADOS

3.1 Caracterização do resíduo e do aglomerante

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados da caracterização do lodo de curtime e do cimento Portland comum quanto ao teor de umidade, pH, sólidos totais e suas frações.

Parâmetros	Lodo de Curtume	Cimento Portland
Teor de umidade(%)	26,42	0,183
Sólidos totais(%)	73,58	99,817
Sólidos voláteis(%)	40,55	1,535
Sólidos fixos(%)	59,45	98,465
pH	8,25	-

Tabela 1- Caracterização do lodo de curtume e do cimento Portland

Os dados da caracterização do lodo de curtume utilizado neste trabalho ficaram próximos do encontrado por Muniz (1999) em relação à umidade, sólidos totais, sólidos totais voláteis e fixos que foram respectivamente, 21,00%, 79,00%, 39,70% e 60,3%. O teor de sólidos voláteis (40,55%) representa a fração de compostos orgânicos presente no lodo de curtume e facilmente volatilizados a temperaturas acima de 500 °C, e o teor de sólidos fixos (59,45%) indica a quantidade de matérias inertes ao resíduo, esses materiais são geralmente areia, pó de pedra e argila. Analisando o pH e de acordo com a NBR 10.004, o resíduo não possui características reativas, pois o pH se encontra na faixa permitida, que é entre 2 a 12.

Os resultados mostram que o cimento apresenta concentrações elevadas de sólidos totais e fixos e que a presença de matéria orgânica é baixa. Dados da caracterização do cimento neste trabalho ficaram próximos do encontrado por Guimarães (2008) que foram 1,00%; 99,00%; 97,00%; 3,00%; para teor de umidade, sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis respectivamente.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de lixiviação e solubilização do lodo de curtume e do cimento Portland.

Metal	Lodo de Curtume		Cimento Portland
	Solubilização (mg.L ⁻¹)	Lixiviação (mg.L ⁻¹)	Lixiviação (mg.L ⁻¹)
Cromo	0,15	0,13	0,29
Alumínio	ND	ND	ND
Ferro	0,11	ND	ND
Chumbo	0,19	0,13	0,47
Cádmio	ND	ND	ND
Cobre	ND	ND	ND
Bário	ND	ND	<1,00
Cádmio	ND	ND	<1,00
Prata	ND	ND	<0,1

Zinco	ND	ND	<0,1
Enxofre	ND	ND	144
Magnésio	ND	ND	0,15

Tabela 2 – Quantidade de metais encontrados na lixiviação e solubilização do o lodo de curtume e do cimento Portland

ND – Não Detectado (Abaixo do limite de detecção da absorção atômica)

De acordo com os ensaios de lixiviação e solubilização o cimento não apresenta teores de metais acima do limite máximo permissível estabelecido pela ABNT NBR 10.004 (2004), e o lodo de curtume não se caracterizou um resíduo perigoso, pois os valores obtidos no ensaio de lixiviação não ultrapassaram o limite máximo. O lodo foi classificado como Classe IIA (não inerte), pois no ensaio de solubilização o valor de cromo liberado foi de 0,15 e o valor de chumbo foi 0,19, ambos acima do valor máximo permitido que é de 0,05 e 0,01, respectivamente.

Por ser classificado como um resíduo Classe II A, o resíduo apresenta propriedades, como a de biodegradabilidade, combustibilidade e solubilidade em água. Se for solúvel em água pode contaminar os lençóis freáticos e causar danos à saúde. Logo é necessário tratar o lodo de curtume antes de sua disposição final.

3.2 Avaliação dos materiais após a Estabilização por Solidificação

Na Tabela 3 encontram-se os resultados obtidos nos ensaios de resistência a compressão, capacidade de absorção de água e umidificação e secagem, para os setes tratamentos de acordo com o planejamento experimental.

Condições			Respostas		
Tratamento	% Lodo	Tempo de cura (dias)	RC (MPa)	CAA (%)	U/S (%)
1	15	7	0,87	20,95	8,17
2	25	7	0,41	20,95	8,23
3	15	28	0,99	18,92	4,75
4	25	28	0,50	24,99	4,81
5	20	17,5	0,54	22,15	6,50
6	20	17,5	0,65	21,49	7,68
7	20	17,5	0,64	21,11	5,55

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão, capacidade de absorção de água e umidificação e secagem

A partir dos dados apresentados na Tabela 3, verifica-se que em nenhum dos tratamentos realizados o valor de resistência a compressão foi maior que 1 Mpa, que é o valor estabelecido pelo Protocolo de Avaliação de Materiais Estabilizados por Solidificação proposto por Brito (2007). Neste caso, a utilização do deste material

deve ser feita de forma controlada e a disposição deve ser em aterro de resíduos não perigosos.

Os valores de resistência à compressão são influenciados diretamente pela porcentagem de resíduo. Com o aumento da quantidade de lodo presente na estrutura do material estabilizado por solidificação a resistência do material diminui.

Segundo a ABNT NBR 9778 (1987), no ensaio de capacidade de absorção de água o limite máximo de água permissível nos poros é 40%. Pelos dados apresentados na Tabela 3, todos os ensaios foram aprovados neste ensaio e os maiores valores de absorção de água foram observados nas matrizes com maior percentual de lodo de curtume.

De acordo com o Protocolo de Avaliação de Materiais Estabilizados por Solidificação, após seis ciclos de umidificação e secagem a perda em peso não deve ser superior a 15% do seu peso inicial. Portanto os valores encontrados de todos os tratamentos realizados se encontram dentro do limite máximo permissível. Percebe-se pela Tabela 3 que o tempo de cura é fator determinante na perda de peso das amostras. Menores tempos de cura levam a maiores perdas de massa, uma vez que no início do tempo de cura é que ocorre as maiores perdas de massa.

3.3 Análise Estatística

Na Tabela 4 estão apresentados os valores do F calculado e do valor de P da análise de variância (ANOVA) para os critérios de integridade e durabilidade.

Fonte da Variação	F _{Calculado}			Valor P		
	RC	CAA	U/S	RC	CAA	U/S
<i>%Resíduo</i>	60,8	33,26	0,96	0,02	0,03	0,96
<i>Tempo</i>	2,98	3,65	0,09	0,23	0,19	0,09
<i>%Resíduo x t Tempo</i>	0,06	33,26	0,99	0,82	0,03	1,00
<i>Curvatura</i>	3,15	0,11	0,93	0,22	0,78	0,93

TABELA 4– Análise de Variância (ANOVA) Para Integridade e Durabilidade

Os resultados da ANOVA mostraram que os modelos obtidos foram lineares para resistência à compressão e capacidade de absorção de água. Para umidificação e secagem não houve significância ao nível de 95% de probabilidade, logo, não foi obtido um modelo.

Para a resistência a compressão, apenas o fator porcentagem de resíduo (lodo de curtume) influenciou na resposta. O modelo obtido está expresso na Equação 5.

$$RC = 1,505 - 0,0450 \% \text{ Residuo} \quad (5)$$

O modelo obtido para a resistência à compressão consegue explicar 97,11% dos dados experimentais e o valor negativo (-0,045) informa que o percentual de lodo de curtime na estrutura influencia negativamente na RC.

Para o ensaio de capacidade e absorção de água, o fator percentual de lodo e a interação percentual de resíduo versus tempo, influenciaram na resposta, e o modelo linear que representa os dados está apresentado na Equação 6.

$$CCA = 24,66 - 0,202 \% \text{ Re siduo} + 0,0209 \% \text{ Re siduo} \times \text{Temp} \quad (6)$$

O modelo consegue explicar 97,23% dos dados experimentais.

A figura 1 mostra os gráficos de contorno para a resistência a compressão e capacidade de absorção de água, respectivamente.

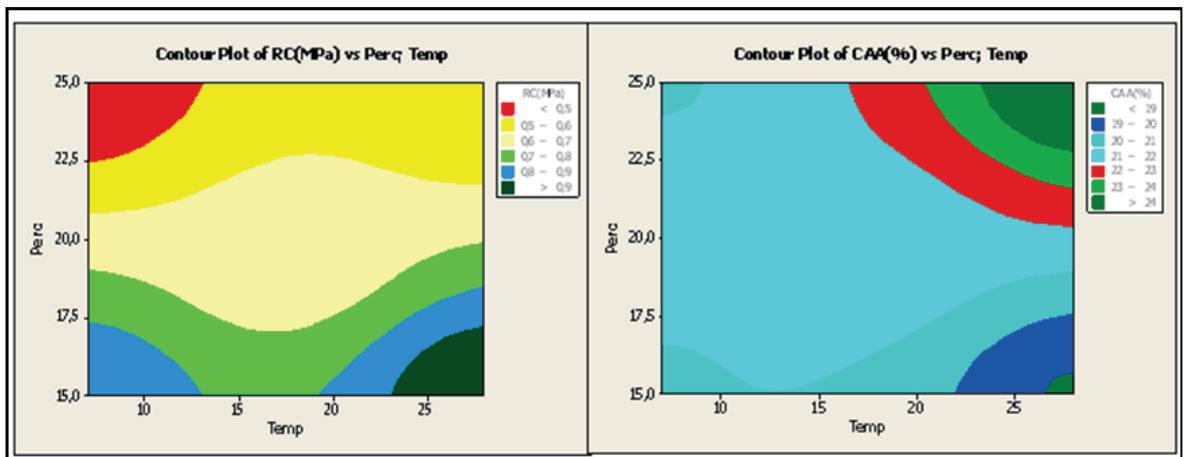


Figura (1a)

Figura (1b)

FIGURA 1 – Gráficos de contornos para RC (1a) e CAA (1b)

A figura 1(a) mostra que o melhor resultado para resistência à compressão encontra-se na parte inferior do lado direito do gráfico, que corresponde ao maior tempo de cura e menor percentual de resíduo. Este resultado indica que aumentando o percentual de lodo a resistência será menor. O percentual de lodo influencia negativamente na integridade do material estabilizado por solidificação.

A figura 1(b) mostra que o melhor resultado para a Capacidade e Absorção de Água encontra-se na região localizada no lado direito e na parte superior do gráfico. Observa-se que quanto maior o percentual de resíduo maior a absorção de água. A quantidade de lodo presente na estrutura, influencia negativamente na absorção de água dos materiais estabilizados por solidificação.

4 | CONCLUSÃO

- O lodo de curtume é classificado como resíduo classe II A (não inerte) e antes de sua disposição final é necessário um tratamento.
- Pela a análise estatística dos ensaios de integridade e durabilidade houve diferença significativa ao nível de 95% de probabilidade para a resistência à compressão e capacidade e absorção de água e o modelo que representa as variáveis respostas foi o modelo linear;
- Os resultados de umidificação e secagem não apresentaram diferença significativa ao nível de 95%;
- Para resistência à compressão apenas a porcentagem de resíduo no material influencia na resposta.
- Para capacidade de absorção de água a porcentagem de resíduo e a interação entre o tempo e a porcentagem de resíduo influenciam na resposta.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradem à CAPES pelo apoio financeiro, a Universidade Federal de Campina Grande, a Unidade Acadêmica de Engenharia Química e ao Laboratório de Gestão Ambiental e Tratamento de Resíduos.

REFERÊNCIAS

- APHA-AWWA-WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 18 ed. Washington, 1193p, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 10.004: **Resíduos Sólidos - Classificação**. CENWin, Versão Digital, ABNT NBR 10.004, 71p, 2004a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 7215: **Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 8p, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 9.778: **Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água por imersão**, 1987, Rio de Janeiro, 5p, 1987.
- BRITO, A. L. F. **Protocolo de Avaliação de Materiais Resultantes da Estabilização por Solidificação**. Tese de Doutorado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis - SC, 2007.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 313**, de outubro de 2002.
- GUIMARÃES, D. L. **Tratamento de lodo primário de estação de tratamento de efluentes e aplicação de protocolo de avaliação**. Dissertação de mestrado em Engenharia Química – Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande, 2008.

LEAL, D. **Tratamento de lodo primário de estação de tratamento de efluentes e aplicação De protocolo de avaliação.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande, 2008.

MONTAÑÉS, M. T; SÁNCHEZ-TOVAR, R; ROUX, M. S. **The effectiveness of the stabilization/ solidification process on the leachability and toxicity of the tannery sludge chromium.** Journal of Environmental Management, v.143, p.71–79, 2014.

MUNIZ, A. C. S. **Processo de tratamento aeróbio de resíduos sólidos urbanos e industriais.** 1999. 113 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Paraíba/ Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 1999.

SOBRE A ORGANIZADORA:

Marcia Regina Werner Schneider Abdala: Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Graduada em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Possui experiência na área de Educação a mais de 06 anos, atuando na área de gestão acadêmica como coordenadora de curso de Engenharia e Tecnologia. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se a atuação como professora de ensino superior atuando em várias áreas de graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Atuou como inspetora de Aviação Civil, nas áreas de infraestrutura aeroportuária e segurança operacional em uma instituição federal.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-85107-65-9

