

## DIAGNÓSTICO DO RISCO DO LODO DE CURTUME “IN NATURA” PARA EXPOSIÇÃO NO MEIO AMBIENTE E VIABILIDADE DO PROCESSO DE ESTABILIZAÇÃO POR SOLIDIFICAÇÃO VISANDO UTILIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.

Adriana Valéria Arruda Guimarães (1); André Luiz Fiquene de Brito (2); Ana Cristina Silva Muniz (3); Natália Porfirio Albuquerque (4)

- (1) *Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Química – [adri.valeriauepb@hotmail.com](mailto:adri.valeriauepb@hotmail.com)*
- (2) *Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Química – [andre@deq.ufcg.edu.br](mailto:andre@deq.ufcg.edu.br)*
- (3) *Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Química – [anamuniz@deq.edu.br](mailto:anamuniz@deq.edu.br)*
- (4) *Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Química – [nataliapalbuquerque@gmail.com](mailto:nataliapalbuquerque@gmail.com)*

**RESUMO:** O lodo de curtume apresenta alto teor de metais pesados, sendo classificado como um resíduo perigoso ou Classe I, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas 10.004/2004a. No entanto, uma opção viável para minimizar os impactos encontra-se associada à reciclagem e/ou a reutilização do lodo após ser submetido a tratamento de estabilização por solidificação. O objetivo da pesquisa foi caracterizar o lodo de curtume “in natura” e investigar a viabilidade técnica da reutilização do mesmo após E/S na construção civil para confecção de artefatos não estruturais visando, sobretudo, a integridade, durabilidade dos mesmos. A pesquisa foi realizada em seis etapas: i) planejamento experimental, ii) caracterização e classificação do lodo e dos aglomerantes; iii) preparação dos corpos de provas, iv) avaliação do material E/S enfatizada tanto pela integridade e durabilidade quanto pela imobilização dos contaminantes; v) e, por fim realizou-se a Análise de Variância que possibilitou a otimização do processo de tratamento aplicado ao lodo de curtume. Os resultados obtidos mostraram que, ao nível de 95% de significância, os valores obtidos para Integridade/Durabilidade foram significativos. Para a umidificação e secagem apenas o tempo de cura não apresentou efeito significativo. Já para o parâmetro Capacidade de Absorção de Água, todos os valores foram significativos. Assim sendo, tais valores possibilita concluir que as variáveis da matriz estabilizada foram significativos principalmente, para o parâmetro Integridade/Durabilidade. Neste sentido, concluiu-se que a lixiviação e a retenção dos contaminantes são fatores limitantes na avaliação de materiais estabilizados por solidificação e utilizados na construção civil.

Palavras-Chave: lodo, estabilização e solidificação, artefatos não estruturais.

### 1. INTRODUÇÃO

As indústrias de curtume tem grande participação em impactar o meio ambiente. De acordo com Ferrari (2209), uma tonelada de pele salgada gera de 150 a 350 kg de couros acabados e uma elevada

quantidade de efluentes em virtude dos vários processos. Os efluentes, por sua vez, são tratados na Estação de Tratamento de Efluentes – ETA do próprio curtume, na qual gera uma quantidade expressiva de lodo, aproximadamente 130 kg de matéria

seca por tonelada de couros processados corresponde a 650 kg de lodo por tonelada de pele salgada (FERRARI, 2009).

O lodo de curtume, por sua vez, é classificado como sendo resíduo sólido perigoso - Classe I, comprometendo o meio ambiente em virtude da presença de cromo ( $\text{Cr}^{3+}$ ), sulfetos ( $\text{S}^{2-}$ ) e elevada matéria orgânica. É conveniente ressaltar que após todo o processo fabril do couro além do lodo são também lançados no meio ambiente resíduos líquidos e retalho de couro que leva um tempo considerável para ser degradado, fazendo com que o solo fique sem uso por várias gerações (NUNES *et al.*, 2012).

De acordo com Ferrari (2009) tanto o manuseio quanto a estocagem desse lodo “in natura” no próprio curtume ou quando o mesmo é disposto em aterros pode acarretar danos ao meio ambiente e as pessoas que utilizam direto ou indiretamente desse meio. Este resíduo perigoso pode lixiviar os seus contaminantes, como por exemplo o cromo trivalente ( $\text{Cr}^{3+}$ ), e contaminar o solo e as águas subterrâneas além de afetar a saúde dos seres humanos, como por exemplo, o câncer.

Na perspectiva do reaproveitamento do lodo de curtume na construção civil, Lucas e Benatti (2008) e Pietrobon *et al.* (2002), ressaltam que essa prática é de fundamental importância

para uma sociedade que se encontra alicerçada com o desenvolvimento sustentável, capaz de satisfazer as necessidades do conjunto da população do presente sem comprometer a capacidade de sobrevivência de gerações futuras conforme está previsto na Agenda 21.

Diante dessa realidade, o lodo de curtume vem sendo submetido a vários processos de tratamentos. SWARNALATHA *et al.*, (2008) utilizou como técnica de tratamento do lodo primário da indústria de curtume a estabilização por solidificação (E/S). O lodo após ser incinerado a  $800^{\circ}\text{C}$  foi submetido a E/S fazendo uso do cimento e da água. E de acordo com SWARNALATHA *et al.*, (2008), os resultados para o parâmetro resistência à compressão variou entre 85 a  $156 \text{ Kg/cm}^2$  o que corresponde a uma variação de 8,5 a 15,6 MPa.

No entanto, o reaproveitamento do lodo de curtume se torna eficiente quando submetido a tratamentos físico-químicos. Dentre esses, destaca-se a utilização da estabilização por solidificação (E/S), o qual é um processo que propícia a retenção dos contaminantes presentes no resíduo industrial convertendo-os a uma forma quimicamente mais estável e, sobretudo, que não possa lixiviar para o meio ambiente impedindo desse modo, tanto impacto ambiental quanto social. Desse

modo, convertendo os resíduos sólidos industriais da Classe IA e Classe IIA para Classe IIB.

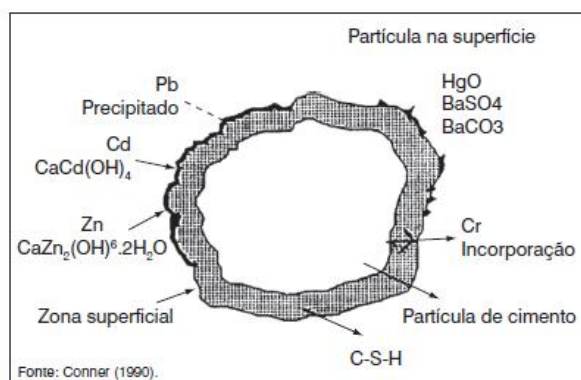
O processo de E/S quando aplicado a esses resíduos industriais pode reter os contaminantes impedindo a lixiviação dos mesmos para o meio ambiente sendo, portanto, uma forma adequada de tratar o resíduo.

Deste modo SUZUKI e ONO (2008) afirma, mediante experimentação, que a dinâmica do processo de tratamento de E/S quando aplicado à resíduos perigosos, como é o caso do lodo primário da indústria de curtume, se dar mediante reação de primeira ordem. Este modelo, portanto, utiliza-se da seguinte equação:  $C_m = C_o(1 - e^{-kt})$ . Assim sendo, o presente artigo buscou comprovar que a lixiviação e a retenção dos contaminantes são fatores limitantes na avaliação de materiais estabilizados por solidificação e utilizados na construção civil na confecção de artefatos cimentícios não estruturais.

Brito & Soares (2009), afirmam que a no processo de E/S a retenção dos contaminantes presentes no resíduo perigoso envolve mecanismos físicos, químicos ou a interação entre ambos. No processo de estabilização física ocorre a solidificação ou encapsulamento na qual muda a forma física sem, necessariamente, promover ligações químicas dos constituintes do resíduo. Já no processo de

estabilização química, os estados químicos dos constituintes mudam para uma forma menos solúvel em água, conforme a Figura 1.

Figura 1 - Estabilização por solidificação de metais pesados por hidratação do cimento



Fonte: CONNER, 1990

Contudo, para um melhor entendimento acerca do processo de E/S é conveniente ressaltar dois critérios importantes: i) relacionado à imobilização dos contaminantes e ii) relacionado à integridade/durabilidade dos materiais. No primeiro, os contaminantes presentes no resíduo perigoso tanto podem ser aprisionados ou retidos na superfície da matriz quanto incorporados no interior da matriz (BRITO & SOARES, (2009) e SPENCE; SHI, (2005)).

## 2 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Gestão Ambiental e Tratamento de Resíduos (LABGER),

pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Química (UAEQ), localizado no Centro de Ciências e Tecnologia (CCT), Campus I da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizada na cidade de Campina Grande, estado da Paraíba.

O experimento foi desenvolvido mediante seis etapas, conforme encontram-se descritas a seguir:

**Etapa 1:** Foi realizado o planejamento experimental fatorial  $2^k$  com adição de três repetições no ponto central e utilizou-se como fatores porcentagem de lodo (5 e 20%), codificado de -1 (nível mais baixo) e + 1 (nível mais alto) tendo o mesmo procedimento adotado para o tempo de cura (7 a 28 dias), sendo 7 dias (-1) codificado de mais baixo e o 28 dias (+1) codificado de mais alto conforme consta na Tabela 1.

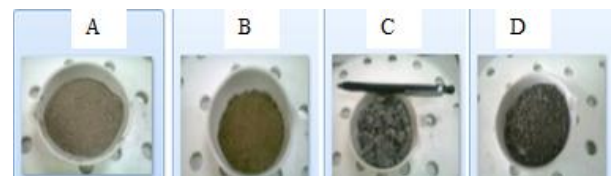
Tabela 1 – Planejamento experimental fatorial  $2^k$  com 03 repetições.

Exp.	A <sup>1</sup>	B <sup>2</sup>	F. A (%lodo)	F. B (TC)	(VR)
Exp <sub>1</sub>	-1	-1	5	7	Y1
Exp <sub>2</sub>	+1	-1	20	7	Y2
Exp <sub>3</sub>	-1	+1	5	28	Y3
Exp <sub>4</sub>	+1	+1	20	28	Y4
Exp <sub>5</sub>	0	0	12,5	17,5	Y5
Exp <sub>6</sub>	0	0	12,5	17,5	Y6
Exp <sub>7</sub>	0	0	12,5	17,5	Y7

Legenda: A<sup>1</sup>: Nível de fator A; B<sup>2</sup>: Nível de fator B.

**Etapa 2** - Realizou-se a classificação do lodo de curtume e dos aglomerantes (cimento, areia e brita) mediante ensaios físico-químicos aplicados aos extratos lixiviado e solubilizado, as quais seguiram recomendações da APHA, 2005 e posteriormente, as recomendações da ABNT – NBR: 10.004/2004a e ABNT – NBR 10.006/2004b, conforme Figura 2.

Figura 2 – Aglomerantes e lodo de curtume utilizados na confecções dos corpos de prova.



LEGENDA: A) CPC; B) AREIA; C) BRITA; D) LODO  
FONTE: LABGER, 2014.

**Etapa 3** - Foram preparados os corpos de prova, conforme Figura 3, em relação ao tempo de cura e a porcentagem de resíduo a partir da Tabela 2.

Figura 3 – Elaboração dos Corpos



Tabela 2 – Composição da Matriz Cimentícia dos Corpos de Prova.

% RSI	AGLOMERANTES (g)				CP (g)	A/G
	CPC	AREIA	BRITA	Lodo		
5%	128	257	64	22,5	450	0,55
12,5%	128	257	64	56,3	450	0,55
20%	128	257	64	90	450	0,55

**Etapa 4** - Foi avaliado o material estabilizado por solidificação frente à Resistência a Compressão no que diz respeito à integridade/durabilidade e, com relação à imobilização dos contaminantes, quando relacionado aos parâmetros Umidificação e Secagem e Capacidade de Absorção de Água.

**Etapa 5** - Realizou-se a análise estatística ANOVA.

**Etapa 6** - Foi proposto a elaboração de blocos cimentícios não estruturais a partir de lodo E/S para serem introduzidos na construção civil, conforme a Figura 4.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos mostram que após a confecção dos corpos de prova realizaram-se as análises de integridade/durabilidade ao material estabilizado assim sendo, verificou-se que o tratamento, com adição de 5% de lodo e tempo de cura de 28 dias, apresentou os melhores resultados para os parâmetros de resistência à compressão; Umidificação/secagem e capacidade de absorção de água cujos valores foram, respectivamente, 16,9 MPa; 2,76% em massa e 10,1%. Com relação à ANOVA, o parâmetro RC apresentou efeito significativo ao nível de significância de 95%, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Análise de Variância do parâmetro RC ao nível de 5%

Fonte	g.L	Valor P	Significância
%RSI	2	0,002	Sig
T	1	0,002	Sig
Intera	1	0,003	Sig
ção			
%	1	0,122	NS
RSI <sup>2</sup>			
t <sup>2</sup>	1	0,122	NS
Curv.a	1	0,926	NS
Resíd.	2		
Puro	2		
Erro			
<b>Total</b>	<b>6</b>		

Com relação ao parâmetro US a realização da ANOVA, ao nível de 95%,

mostrou que apenas os fatores % lodo e Interação demonstraram efeitos significativos, ou seja, o valor  $P$  foram, respectivamente, igual a 0,01 e 0,002 sendo ambos os valores menores que 0, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Análise de Variância do parâmetro US ao nível de 5%

Fonte	g. L	Valor $P$	Significância
%RSI	2	0,001	Sig
T	1	0,008	NS
Interação	1	0,001	Sig
% RSI <sup>2</sup>	1	0,039	NS
t <sup>2</sup>	1	0,039	NS
Curvatura	1	0,409	NS
Resíduo	2		
Puro Erro	2		
<b>Total</b>	<b>6</b>		

Diante dessa realidade, constatou-se que as duas variáveis controláveis, que são a porcentagem de lodo e o tempo de cura dos materiais E/S, influenciaram na variável resposta, ou seja, um maior TC dos corpos de prova, resultará em uma maior resistência do material em perder massa, quando comparada à sua massa inicial.

Com relação ao parâmetro capacidade de absorção de água, ao nível de 95%, todos os valores foram significativos, conforme consta na Tabela 5.

Observa-se que Assim sendo, verificou-se que, ao nível de 95% os valores obtidos para CAA foram todos

significativos, ou seja,  $p \leq 5$  para os fatores % de RSI, TC e Interação. É importante ressaltar que os valores obtidos para a CAA encontram-se abaixo do limite máximos permitidos pela legislação ABNT NBR 9978 – 1987, que é abaixo de 40 % de massa. Andrade *et al.*, (2013) encontraram para esse parâmetro uma média de 26,67% e de acordo com ANOVA, os tratamentos aplicados tiveram interação entre os parâmetros analisados e conforme a norma, os blocos cimentícios elaborados encontram-se solidificados.

Tabela 5 – Análise de Variância do parâmetro Capacidade de Absorção de Água ao nível de 5%.

Fonte	g.l	Valor $P$	Significância
%RSI	2	0,000	Sig
T	1	0,000	Sig
Interação	1	0,000	Sig
% RSI <sup>2</sup>	1	0,001	Sig
t <sup>2</sup>	1	0,001	Sig
Curvatura	1	0,003	Sig
Resíduo	2		
Puro Erro	2		
Total	6		

#### 4. CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos, concluiu-se que tanto o lodo de curtume como os demais aglomerantes

estabilizados por solidificação (E/S) foram aprovados nos ensaios de resistência à compressão e umidificação e secagem, satisfazendo os critérios adotados para os testes de integridade/durabilidade, ou seja, esses materiais E/S conseguiram aprisionar os contaminantes na matriz de cimento.

O tratamento utilizando 5% de lodo e tempo de cura de 28 dias, foi o que obteve os melhores resultados frente à análise de integridade/durabilidade fato este, também, verificado ao parâmetro capacidade de absorção o qual esteve dentro do limite permitido pela norma que é, de no máximo 10%, atingindo o seu máximo de absorção.

Os resultados obtidos permitiram concluir que os fatores estudados, porcentagem de lodo e tempo de cura, da matriz estabilizada frente às variáveis independentes foram significativos para o experimento, uma vez que a interação entre os mesmos também demonstrou significância, o que confirma sinergia entre os fatores com o parâmetro analisado. Ainda sim, pode-se concluir, que o lodo de curtume após E/S pode ser incorporado a artefatos cimentícios da construção civil sem função estrutural, sobretudo, para blocos para pavimentação.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: Classificação de Resíduos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.005: Lixiviação de Resíduos - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.006: Solubilização de Resíduos - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004c.

BRITO, A. L. F; SOARES, S.R. **Avaliação da Integridade e da Retenção de Metais Pesados em Materiais Estabilizados por Solidificação.** Engenharia Sanitária Ambiental, v. 14, nº 1. p. 39 – 48. Rio de Janeiro, jan/mar, ISSN 1413 – 4152, 2009.

CONNER, J.R. **Chemical Fixation and Solidification of Hazardous Wastes.** New York. Van Nostrand Reinhold, p. 692. 1990.

FERRARI, W. A. Guia Técnico Ambiental, 2009.

LUCAS, D.; BENATTI, C. T. **Utilização de Resíduos Industriais para a Produção de Artefatos Cimentícios e Argilosos na Construção Civil.** Revista em Agronegócios e Meio Ambiente, v. 1, n.3, p. 405-418, ISSN 1981-9951, set./dez. 2008.

NUNES, R. de M.; OLIVEIRA, R. M. S. de; BENINI, S. M. **Avaliação do Risco do Cromo Presente no Lodo de Indústria de Curtume.** VIII Fórum Ambiental da Alta Paulista. SP.v. 8, n. 12, p. 222 – 233, 2012.

PIETROBON, C. L. da R. **Modelo Simplificado para Lixiviação de Contaminantes de Compostos Lodo-Cimento.** Technology Acta Scientiarum. Maringá, v. 26, nº 2, p. 103 – 107, 2004.

SUZUKI, K.; ONO, Y. **Leaching characteristics of stabilized/solidified fly ash generated from ash-melting plant.** Chemosphere, v. 71, p. 922 – 932. 2008.

SWARNALATHA, S. et al., **Safe Disposal of Toxic Chrome Buffing Dust Generated from Leather Industries.** Journal of Hazardous Materials, v. 150, p. 290 – 299, 2008.