

## Avaliação da absorção de água e resistência a compressão de peças de concreto fabricadas com resíduo perigoso

## Water absorption and compressive strength evaluation of concrete parts manufactured with hazardous waste

### RESUMO

**Beatriz Sayuri Komuro**  
[beatrizkomuro@alunos.utfpr.edu.br](mailto:beatrizkomuro@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil.

**Andrea Sartori Jabur**  
[jabur@utfpr.edu.br](mailto:jabur@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil.

**Rodolfo Krul Tessari**  
[rtessari@utfpr.edu.br](mailto:rtessari@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil.

**Juliana Guerra Sgorlon**  
[julianasgorlon@utfpr.edu.br](mailto:julianasgorlon@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil.

Tendo em vista o destaque da indústria curtumeira tanto em âmbito nacional quanto internacional e a toxicidade dos resíduos gerados por essas indústrias, o presente trabalho teve como objetivo adicionar as raspas de couro à matriz cimentícia na tentativa de inertizá-lo, evitando assim impactos ambientais e problemas na saúde da população. Foi realizada a caracterização do resíduo, fabricação dos corpos de prova adicionando-se diferentes proporções de resíduo nas peças de concreto (2,5; 5,0 e 7,5%) substituindo a areia, testes de absorção e resistência a compressão após 28 dias de cura e por fim testes de lixiviação com as amostras de corpo de prova rompida. A caracterização do resíduo demonstrou que a quantidade de cromo presente no resíduo é aproximadamente dezoito vezes maior do que o permitido pela ABNT NBR 10004, sendo então classificado como Classe I – Perigos. Os resultados dos testes das peças mostraram que é possível substituir até 2,5% do agregado miúdo pelo resíduo sem comprometer as características de absorção de água e resistência a compressão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Curtume. Reaproveitamento. Cromo

**Recebido:** 19 ago. 2019.

**Aprovado:** 01 out. 2019.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



### ABSTRACT

Given the prominence of the tannery industry both nationally and internationally and the toxicity of the waste generated by these industries, the present work aimed to add leather shavings to the cement matrix in an attempt to inert it, thus avoiding environmental impacts and problems in the health of the population. Residue characterization, specimens fabrication were performed by adding different proportions of residue in concrete pieces (2.5, 5.0 and 7.5%) replacing the sand, absorption tests and compressive strength after 28 days of cure and finally leaching tests with the broken specimens samples. The characterization of the residue showed that the amount of chromium present in the waste is approximately eighteen times higher than that allowed by ABNT NBR 10004, being then classified as Class I - Hazards. The test results of the parts have shown that up to 2.5% of the fine aggregate can be replaced by the waste without compromising water absorption and compressive strength characteristics.

**KEYWORDS:** Tannery. Reuse. Chrome.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor de couro do mundo, exportando mais de 478 milhões de metros cúbicos de couros e pele no ano de 2018 de acordo com o Centro das Indústrias de Curtume do Brasil (CICB, 2019). O processo geral de transformação de peles em couro é geralmente dividido em três etapas: ribeira, curtimento e acabamento. Onde a ribeira consiste em limpar a pele, o curtimento oferece uma maior resistência e estabilidade ao couro e o acabamento averigua as propriedades físico-mecânicas desejadas ao couro (SILVA, 2006). Os principais responsáveis pela geração dos resíduos e efluentes líquidos são as etapas de ribeira, curtimento (wet blue) e a serragem do couro, que ocorre na etapa de acabamento (GANEN, 2019).

Sendo assim, visto que o couro tem grande importância no mercado nacional e apresenta consideráveis resíduos gerados na indústria curtumeira, o presente trabalho teve como objetivo verificar a viabilidade de utilização de resíduos sólidos provenientes da indústria do couro em peças de concreto buscando uma alternativa ambientalmente adequada para o tratamento/disposição final de tais resíduos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente realizou-se a caracterização do resíduo para sua classificação quanto a sua periculosidade. Posteriormente houve a fabricação dos corpos de prova com diferentes quantidades de resíduo (0%; 2,5%; 5,0% e 7,5%) em substituição ao agregado miúdo (areia). As quantidades de matérias-primas (m/m) e a relação água/cimento (A/C) utilizados para os respectivos traços está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Traços dos corpos de prova

Traço	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Resíduo (g)	Brita (Kg)	A/C
Referência 0%	1,5	3	-	4,5	0,6
2,50%	1,3	2,535	65	3,9	0,654
5,00%	1,3	2,47	130	3,9	0,769
7,50%	1,3	2,405	195	3,9	0,769

Fonte: Autoria Própria (2019).

Após a produção no laboratório P001 da UTFPR câmpus Apucarana, o concreto foi transferido para moldes cilíndricos de aço com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm, onde foram aplicadas 3 camadas de concreto de 15 golpes cada, conforme ABNT NBR 5738 (2015).

Após 28 dias de cura em água, as peças foram submetidas a ensaios de físicos e mecânicos para a verificação da influência do resíduo junto a matriz do concreto. As metodologias utilizadas para a caracterização do resíduo, bem como, para a caracterização dos corpos de prova estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Metodologias aplicadas no presente trabalho.

Contaminante	Parâmetro	Metodologia
Caracterização do resíduo	pH	ABNT NBR 10005 (2004)
	Lixiviação	ABNT NBR 10004 (2004)

Caracterização dos corpos de prova	Absorção de água Resistência a compressão	ABNT NBR 5738 (2015) ABNT NBR 5739 (2015)
------------------------------------	--	--

Fonte: Autoria Própria (2019).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 ANÁLISE DE PH

O valor médio do teste realizado em triplicata está presente na Tabela 3.

Tabela 3 – pH médio das raspas de couro.

pH médio	Desvio Padrão
4,71	± 0,017

Fonte: Autoria Própria (2019).

A análise do pH é um importante fator, pois pode influenciar diretamente na lixiviação e na solubilização de metais. Na etapa de curtimento as peles são imersas em uma solução salina de pH ácido, onde é efetuado o banho de píquel, em que o pH da pele e do banho varia de 2,50 a 3,00 e posteriormente ocorre a fixação do curtente com pH entre 3,80-4,00 (PEREIRA, 2006). Sendo assim, como o valor determinado de pH do resíduo foi de 4,71, pode-se dizer que é um resultado aceitável, uma vez que a pele passa por tratamentos em meio ácido, é esperado um valor de pH ao redor de 4,00.

#### 3.2 LIXIVIAÇÃO

A Tabela 4 apresenta o valor da concentração de contaminante encontrados no extrato lixiviado a partir da espectroscopia de absorção atômica.

Tabela 4 – Concentração de cromo do extrato lixiviado do resíduo

Contaminante	Limite NBR 10004/2004 (mg L <sup>-1</sup> )	Resíduo curtume (mg L <sup>-1</sup> )	Desvio padrão
Cr	5,00	89,98	± 4,57

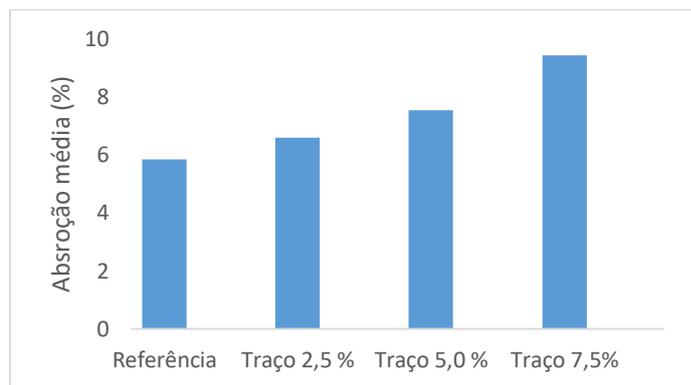
Fonte: Autoria Própria (2019).

A partir dos dados da Tabela 4 é possível verificar que a concentração de cromo no resíduo é aproximadamente 18 vezes maior do que o valor limite estabelecido pela ABNT NBR 10004 (2004), sendo então classificado como Classe I – Perigoso, podendo apresentar potenciais riscos ao meio ambiente e a saúde pública.

#### 3.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA

A partir da Figura 1 é possível comparar da absorção média de água nos traços referentes.

Figura 1 – Comparação dos resultados médios de absorção de água das peças.



Fonte: Autoria Própria (2019).

É possível verificar um aumento da absorção de água juntamente com o aumento da quantidade de resíduo na matriz cimentícia. A absorção está relacionada com a medição do volume de poros no concreto, quanto maior a porosidade, maior a absorção de água. Esses espaços não preenchidos podem vir a ocasionar perda de durabilidade e de resistência mecânica das peças (FIORITI, 2007). Utilizou-se do tratamento estatístico, a análise ANOVA dos resultados obtidos, para a construção da Tabela 5.

Tabela 5 – Tabela ANOVA para a absorção de água das peças fabricadas com resíduo

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Média quadrática	F	Pvalor
Tratamentos	3	14,417	4,8057	52,287	0,001150
Erro residual	4	0,3676	0,0919		
Total	7	6,9141			

Fonte: Autoria Própria (2019).

De acordo com o valor de P pode-se concluir que há uma diferença significativa entre a média dos valores dos tratamentos, onde o valor de  $P < 0,05$  confirma a hipótese. A fim de verificar quais médias são diferentes entre si, realizou-se o teste de Tukey para comparações de médias aos resultados.

Tabela 6<sup>1</sup> – Teste de Tukey para a absorção de água das peças fabricadas com resíduo.

Tratamento	Média (MPa)	Letras
Referência	5,83	a
2,50%	6,6	a b
5,00%	7,54	b
7,50%	9,43	c

Fonte: Autoria Própria (2019).

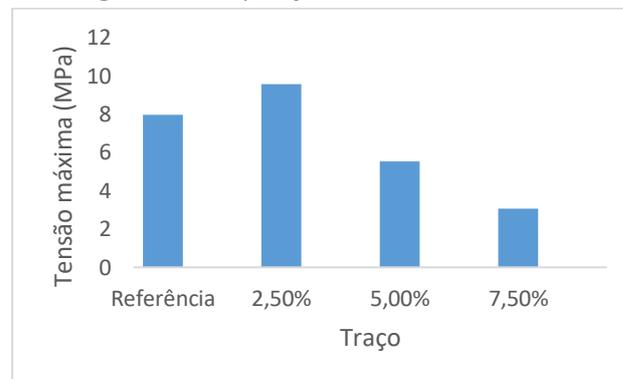
O Teste de Tukey mostra que as médias de absorção de água das peças referência (sem adição de resíduo) é inferior e diferente as médias de absorção de água das peças com adição de 5,00% e 7,50% de resíduo. Já as peças com 2,50% de resíduo não diferem estatisticamente das peças referência. Isso mostra que a adição de 2,50% de resíduo em substituição a areia no concreto, não altera significativamente a quantidade de água absorvida pelas peças.

<sup>1</sup> Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

### 3.4 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

A Figura 2 apresenta a comparação entre as tensões médias obtidas no teste a resistência a compressão.

Figura 2 – Comparação das tensões máximas.



Fonte: Autoria Própria (2019).

É possível observar um aumento da resistência a compressão no traço de 2,50% em relação ao referência, seguido de um decaimento progressivo. De acordo com Pinto (2005), este comportamento de redução da resistência ocorre devido à influência do cromo, que reage com o cimento e a formação de compostos expansivos com maior tendência a fissuras, por conta da presença do sulfato de cálcio, existente no cimento hidratado.

Utilizou-se do tratamento estatístico, a análise ANOVA dos resultados obtidos, para a construção da Tabela 7 e avaliação dos dados.

Tabela 7 – Tabela ANOVA para a absorção de água das peças fabricadas com resíduo

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Média quadrática	F	Pvalor
Tratamentos	3	48,4803	16,1601	19,0057	0,007880 <sup>2</sup>
Erro residual	4	3,4011	0,8503		
Total	7				

Fonte: Autoria Própria (2019).

Como Pvalor < 0,05, pode-se dizer que há uma diferença significativa entre a média dos valores dos tratamentos. A fim de verificar quais médias são diferentes entre si, realizou-se o teste de Tukey para comparações de médias aos resultados.

Tabela 8<sup>3</sup> – Teste de Tukey para a resistência à compressão das peças fabricadas com resíduo

Tratamento	Média (MPa)	
7,50%	3,08	a
5,00%	5,54	a b
Referência	7,96	b c
2,50%	9,58	c

<sup>2</sup> Significativo ao nível 5% de probabilidade (Pvalor < 0,05).

<sup>3</sup> Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Fonte: Autoria Própria (2019).

O Teste de Tukey mostra que a média de compressão das peças com 7,50% de resíduo mostrou-se inferior e diferente as médias de compressão das peças referência e com adição de 2,50% de resíduo. Já as peças com 2,50% de resíduo não diferem estatisticamente das peças referência e mostrou uma resistência a compressão superior e diferente das demais. Isso mostra que a adição de 2,50% de resíduo em substituição a areia no concreto, não altera significativamente a resistência das peças.

#### 4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, a partir das análises estatísticas, observa-se que o traço que mais se aproximou do referência e obteve os melhores resultados foi o de 2,50%, apresentando, portanto, potencialidade para a aplicação do resíduo na construção civil, porém estudos futuros de lixiviação de cromo nas peças fabricadas para garantir a estabilização do resíduo no concreto evitando a contaminação de rios e lençóis freáticos, além de problemas de saúde na população (como úlceras na pele e até mesmo o câncer).

#### REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10005. Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5739. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2007.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5738. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- Centro das Indústrias de Curtumes do Brasil. Disponível em: <<http://www.cicb.org.br/brazilian-leather/en>>. Acesso em 5 de março de 2019.
- FIORITI, Cesar Fabiano. Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneu como material alternativo. 2007. 218 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- GANEM, Roseli Senna. Curtumes: aspectos ambientais. 2007. Disponível em: <<http://bd.camara.gov.br/bd/>>. Acesso em: 8 mar. 2019.
- SILVA, André Luiz Ribeiro Tachard da. Avaliação da resistência mecânica de argamassas de cimento Portland contendo serragem de couro tratada em meio ácido. 2006. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.
- PEREIRA, S.V. Obtenção de cromato de sódio a partir das cinzas de incineração de resíduos de couro do setor calçadista visando à produção de sulfato básico de cromo. Porto Alegre, 2006. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPGEQ) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- PINTO, Carolina Afonso. Estudo da estabilização por solidificação de resíduos contendo metais pesados. 2005. 229 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.