



26º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 49ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

IMPACTOS AMBIENTAIS DA UTILIZAÇÃO LODO TÊXTIL EM CONCRETO ASFÁLTICO AO SER EXPOSTO A ÁGUA

Lyneker S. Moura¹; Carina L. Silva²; Ana Cecília V. da Nóbrega³ & Arnaldo M. P. Carneiro²

RESUMO

O lodo têxtil é subproduto do tratamento do efluente gerado nas lavanderias industriais, onde são realizados os processos de tingimento das peças de vestuário. Há diversos registros na literatura da incorporação de tal resíduo em materiais de construção, obtendo desempenho mecânico e ambiental satisfatórios. Foi realizada, então, a incorporação de lodo têxtil no concreto asfáltico, adicionando-o diretamente aos agregados e também, misturando-o previamente ao ligante. A adição se deu em proporções de 2 a 5% de lodo têxtil por massa total da mistura asfáltica, para ambas formas de incorporação. Com base nos parâmetros da metodologia de dosagem Marshall e da norma DNIT ES 31/2006 para CBUQ, Faixa “C”, os corpos de prova com inserção de 2 e 3% apresentaram os melhores resultados. Nesse sentido, é objetivo desse estudo avaliar a imobilização do lodo têxtil nas misturas asfálticas ao serem submetidas à solubilização em água. Para realização do ensaio de solubilização, foi utilizada a metodologia proposta pela norma ABNT NBR 10006:2004. Em relação ao pH do extrato solubilizado, foram obtidos valores muito próximos ao neutro, sendo todas as soluções avaliadas ligeiramente alcalinas e atendendo aos limites normativos. Para a matéria orgânica e o molibdênio total, ocorreu apreensão de 100%, para todas amostras avaliadas. Em relação à calcita, o magnésio, sódio e o potássio, ocorreu aprisionamento de mais de 99%. Para a salinidade, foi constatada uma redução de 99% e, para a alcalinidade em CaCO₃, 98%. Portanto, é evidente que as misturas asfálticas foram eficientes na imobilização do lodo têxtil, sendo capaz, portanto, de promover a redução dos danos ambientais desse resíduo industrial.

PALAVRAS-CHAVE: Lavanderias industriais; CBUQ; Resíduos; Materiais alternativos.

ABSTRACT

Textile sludge is a byproduct of treating effluent generated in industrial laundries, where clothing dyeing processes are carried out. There are several records in the literature of incorporating such waste into construction materials, achieving satisfactory mechanical and environmental performance. Therefore, the incorporation of textile sludge into asphalt concrete was carried out, adding it directly to the aggregates and also mixing it previously with the binder. The addition was made in proportions of 2 to 5% of textile sludge per total mass of the asphalt mixture, for both incorporation methods. Based on the parameters of the Marshall dosing methodology and the DNIT ES 31/2006 standard, specimens with 2% and 3% insertion showed the best results. In this sense, the objective of this study is to evaluate the immobilization of textile sludge in asphalt mixtures when subjected to water solubilization. For the solubilization test, the methodology proposed by the ABNT NBR 10006:2004 standard was used. Regarding the pH of the solubilized extract, values very close to neutral were obtained, with all evaluated solutions being slightly alkaline and meeting regulatory limits. For organic matter and total molybdenum, 100% retention occurred for all evaluated samples. Regarding calcite, magnesium, sodium, and potassium, retention of over 99% occurred. For salinity, a 99% reduction was observed, and for alkalinity in CaCO₃, 98%. Therefore, it is evident that asphalt mixtures were efficient in immobilizing textile sludge, thus capable of promoting the reduction of environmental damage from this industrial waste.

KEY WORDS: Industrial laundries; HMA; Waste; Alternative materials.

¹ Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - Universidade Federal de Pernambuco, lyneker.moura@ufpe.br.

² Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Pernambuco, carina.lessa@ufpe.br; arnaldo.carneiro@ufpe.br

³ Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, ana.cecilia.nobrega@ufrn.br



INTRODUÇÃO

A região Agreste de Pernambuco abriga um dos mais notáveis polos têxteis do Brasil, representando o segundo maior volume de produção nacional, o APL (Arranjo Produtivo Local) de Confecções do Agreste, que tem como principais membros os municípios de Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe e Toritama. As lavanderias industriais são um elemento crucial para o setor, sendo responsáveis pelos processos de lavagem, amaciagem, tingimento, descoloração e demais processos de modificação nas peças (COMETTI *et al.*, 2016).

O efluente proveniente das lavanderias carrega cerca de 90% dos produtos químicos empregados nos procedimentos realizados, os quais são de composição heterogênea em decorrência da variedade de processos executados e dos materiais neles utilizados (SOUTO, 2017). Em muitos casos, o lançamento desse resíduo ocorre diretamente nos corpos hídricos. Tendo em vista os danos causados por esses descartes irregulares, percebeu-se a necessidade de tornar obrigatório o tratamento anterior ao rejeito. O lodo têxtil é o sólido proveniente dos tratamentos físico-químicos realizados. Apesar desses processos reduzirem ou evitarem a contaminação das porções de água, o descarte inadequado do lodo pode ocasionar danos ao solo, por exemplo, dessa forma, foi proposta a inserção do material residual em revestimento asfáltico.

Diversos autores já realizaram a incorporação de lodo têxtil para fins de imobilização em materiais da construção civil (HEREK 2012; ZANONI 2013; ZHAN e POON, 2015; AQUINO 2015; VELUMANI *et al.*, 2016; ANWAR *et al.*, 2018; HOSSAIN *et al.*, 2018; FERREIRA, 2018; ZHAN *et al.*, 2019; GOYAL *et al.*, 2019). Por meio desses, foi possível realizar a comparação entre a matriz asfáltica e outras matrizes, como argilosas e cimentícias. Em relação a inserção de resíduos em revestimento asfáltico, análises ambientais e estruturais foram realizadas em diferentes trabalhos (CHOI *et al.*, 2019; WOSZUK *et al.*, 2019; JAMSHIDI *et al.*, 2018; PUTRA JAYA *et al.*, 2018; JITSANIGAM *et al.*, 2018; AL-HDABI, 2016; PASANDÍN *et al.*, 2015; MODARRES *et al.*, 2015; BARRA *et al.*, 2014). A partir dos quais foram verificadas as principais formas de incorporação dos resíduos sólidos em revestimento asfáltico, de acordo com as características do material descartado e o comportamento esperado da mistura. Detalhes acerca do processo de inserção e dosagem do lodo têxtil em concreto betuminoso usinado à quente também já foram evidenciados por Moura (2021).

Contudo, segundo a EAPA (2023) deve-se evitar a introdução de resíduos e subprodutos de outras indústrias em misturas asfálticas que possam comprometer certos aspectos fundamentais. Condições de rolamento, durabilidade, segurança e impacto ambiental são citados como aspectos fundamentais além da relação custo-benefício, desempenho mecânico. Para tal é recomendado que seja demonstrado através de um processo de avaliação de risco, que agora e no futuro, não haverá desvantagens em relação a misturas convencionais sobretudo na questão ambiental.

Moura (2021), ao avaliar o desempenho das amostras com incorporação de 0% a 5% de lodo têxtil, por massa total da mistura, com base nos parâmetros da metodologia de dosagem Marshall e da norma DNIT ES 31/2006 para CBUQ, Faixa “C”, obteve resultados mecânicos satisfatórios, especialmente para as amostras com teores de 2% e 3%. Dessa forma, é pertinente que seja realizada a avaliação ambiental no revestimento asfáltico incorporado de lodo têxtil, visando



compreender a eficiência das misturas asfálticas em apreender o resíduo. De modo geral, observa-se a coesão da mistura frente a intempéries simuladas, tendo como principal agente imobilizador o ligante asfáltico que envolve as partículas constituintes das misturas asfálticas. Uma das alternativas para atestar a imobilização do resíduo em revestimento asfáltico é a solubilização dos corpos de prova.

Na solubilização, é analisada a capacidade de apreensão do material residual na mistura por meio da sua submersão em água. O presente trabalho, portanto, propõe-se a realizar a análise da imobilização do lodo têxtil em misturas asfálticas, por meio da solubilização das misturas em água.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

As análises foram realizadas com o lodo têxtil puro e com os corpos de prova asfálticos contendo o resíduo, inserido de forma úmida (misturado previamente ao ligante), às proporções de 2 e 3% em massa, e de forma seca (diretamente nos agregados), à 2%. Esses valores percentuais são relativos à massa total da mistura.

Metodologia

Para realizar o ensaio de solubilização, os corpos de prova do tipo Marshall foram levemente aquecidos e desagregados, a fim de adequá-los à granulometria recomendada em norma, passantes na peneira de 9,5 mm. Posteriormente, o material foi submetido a estufa, a uma temperatura de 42°C e, em seguida, separada a porção de 250 g, com o auxílio de uma balança com a precisão solicitada. Essa parcela foi, então, inserida em um béquer de 1500 mL, ao qual foram adicionados 1000 mL de água destilada. A seguir, a mistura foi agitada em baixa velocidade durante 5 minutos e os béqueres envolvidos com filme de PVC. As amostras ficaram em repouso por 7 dias a uma temperatura de 25 °C.

Ao final do tempo de repouso, o conteúdo dos recipientes foi filtrado, sendo realizadas análises diversas com o extrato solubilizado. Inicialmente, aferiu-se o pH das amostras e, seguidamente, foram realizadas análises químicas para compreender suas composições. Foram determinados os teores de: matéria orgânica (Tritrimetria de oxi-redução); acidez (Tritrimetria de neutralização), salinidade (Condutometria); nitrato (Espectrometria UV); fosfato (Espectrometria VIS); cálcio e magnésio (Complexometria com EDTA); sódio e potássio (Fotometria de Chama); bário, cobre, níquel, cádmio, chumbo, vanádio, zinco, antimônio, prata, cobalto e molibdênio (Espectrometria). Dessa forma, foi possível compreender a capacidade de apreensão do resíduo, total e parcial, das misturas asfálticas. Os valores obtidos foram comparados com o lodo têxtil da forma que é descartado e com o concreto asfáltico de referência (0% de lodo).

Os procedimentos experimentais foram desenvolvidos em conformidade com a norma ABNT NBR 10006:2004.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os teores dos elementos supracitados nas amostras analisadas.

Tabela 1. Análise química dos extratos solubilizados (AUTOR, 2023).

(Continua)

PARÂMETROS	LODO TÊXTIL	0% LODO	LODO SECO 2,0%	LODO CAP 2,0%	LODO CAP 3,0%	VMP ⁽¹⁾	UNIDADE
Acidez	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	-	-
Alcalinidade em CaCO₃	1482,5	12,1	32,2	30,2	20,1	-	mg/L
Antimônio Total	0,011325	<0,00010	0,00017	<0,00010	0,00012	-	mg/L
Bário Total	0,06325	0,0035	0,0058	0,0067	0,0063	0,7	mg/L
Cádmio Total	<0,00050	0,00056	0,00244	0,002	0,00468	0,005	mg/L
Cálcio Total	35	2	5	5	4	-	mg/L
Chumbo Total	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,01	mg/L
Cobalto Total	0,00175	<0,00010	0,00051	<0,00010	<0,00010	-	mg/L
Cobre Total	0,00795	0,00132	0,00179	0,00133	0,00081	2	mg/L
Fosfato Total	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	-	mg/L
Magnésio Total	901,5	0,6	4,2	2,4	3	-	mg/L
Matéria	150	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-	mg/L(O ₂)



Orgânica

Molibdênio Total	0,0255	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	-	mg/L
Níquel Total	0,0625	<0,0010	0,0017	0,0013	<0,0010	-	mg/L
PARÂMETROS	LODO TÊXTIL	0% LODO	LODO SECO 2,0%	LODO CAP 2,0%	LODO CAP 3,0%	VMP ⁽¹⁾	UNIDADE
Nitrato em N	<0,05	0,65	1,37	0,94	2,4	10	mg/L
pH	8,4	7,6	7,3	7,6	7,4	-	-
Potássio Total	142,75	3,2	3,4	3,4	4	-	mg/L
Prata Total	<0,00050	<0,00050	<0,00050	<0,00050	<0,00050	0,05	mg/L
Salinidade	10,5525	0,037	0,1	0,07	0,13	-	‰
Sódio Total	1688,25	3,3	13,9	13,9	18,6	200	mg/L
Vanádio Total	<0,00100	<0,00100	<0,00100	<0,00100	<0,00100	-	mg/L
Zinco Total	0,0275	0,0071	0,0119	0,0051	0,0236	5	mg/L

(1) VMP: Valor máximo permitido segundo a ABNT NBR 10004/2004.

Não foi detectada acidez ou alcalinidade excessivas nas análises dos extratos solubilizados dos corpos de prova asfálticos, tendo em vista que as amostras em contato com o CAP apresentam pH próximos a neutro, e o lodo têxtil básico. Tal aspecto demonstra a apreensão dos elementos que atribuem caráter básico ao lodo têxtil, especialmente o magnésio.

Em relação à matéria orgânica e ao molibdênio total, foi possível verificar o aprisionamento de 100% em todas as formas de inserção avaliadas. Juntamente a estes primeiros, a calcita, o magnésio, sódio e o potássio foram os elementos que apresentaram menor solubilização em números totais. O aprisionamento desses elementos por parte da matriz asfáltica foi superior a 99%.



Para a alcalinidade em CaCO_3 , foi observada uma redução acima de 98% em todas as amostras. No que se trata do cálcio total, foi maior que 90% o percentual de imobilização, atingindo até 94%. Ao avaliar o antimônio e bário, nota-se que 95% destes ficaram aprisionados na matriz asfáltica. Em relação à salinidade, é percebida uma redução de mais de 99%.

No extrato do lodo têxtil puro, a concentração de sódio total está acima dos limites estabelecidos pela NBR 10004/2004, porém, ao ser inserido na matriz asfáltica, notou-se aprisionamento satisfatório, com a diminuição de, aproximadamente, 120 vezes sua concentração, se situando consideravelmente abaixo dos limites normativos.

Os valores relacionados ao “nitrato em N” e “cádmio total” não possuem relação com o lodo têxtil, já que não foram detectados nas análises das amostras puras. De forma semelhante, o chumbo, o níquel, a prata, o fosfato e o vanádio não se encontravam presentes em quantidades mensuráveis tanto no lodo têxtil, quanto nas amostras de mistura asfáltica. Em virtude das reduzidas concentrações de zinco, não foi possível realizar uma análise quantitativa.

Quanto às diferentes formas de inserção, há uma tendência de aprisionamento superior para o cobre e o cobalto na inserção úmida, sendo o lodo misturado ao ligante. Desse modo, pode-se inferir que os componentes do lodo têxtil possuem maior afinidade ao ligante asfáltico do que a água.

Por fim, o aprisionamento eficiente dos resíduos nas matrizes asfálticas é consoante com o verificado por Modarres *et al.* (2015) em estudos com cinza e pó de carvão, nos quais foram analisados os teores de cádmio, cromo, chumbo, níquel, mercúrio, arsênio, cobre e zinco.

Moura (2021) avaliou a viabilidade operacional da incorporação do lodo têxtil nas misturas asfálticas, considerando o cenário do APL (Arranjo Produtivo Local) de Confecções do Agreste. Foi observado que o custo para processar o lodo têxtil, secagem e destorroamento, é inferior ao de encaminhá-lo para disposição final em aterro apropriado. Além disso, considerando o volume de revestimento asfáltico aplicado no município de Caruaru-PE, por ano, verificou-se que poderiam ser destinados cerca de 300 a 458 toneladas de lodo têxtil. Vale destacar que, existem mais de 800 lavanderias industriais no Agreste pernambucano e, apenas uma lavanderia de médio porte, que processa cerca de 100 mil peças de vestuário por ano, gera cerca de 6 toneladas de lodo têxtil seco anualmente. Considerando o custo do fíler convencional utilizado, a cal, o valor investido em maquinário pra utilização do resíduo seria retornado em aproximadamente um ano.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados, observa-se que as misturas asfálticas analisadas foram eficientes na estabilização e solidificação dos componentes presentes no lodo têxtil, nas proporções e dosagens estudadas. Assim, o ensaio de solubilização se configura como uma ferramenta de avaliação ambiental de materiais alternativos que contém algum tipo de resíduo. É de suma importância garantir a imobilização dos materiais residuais inseridos como constituinte de materiais de construção, evitando danos ambientais diversos em decorrência do desprendimento do resíduo na matriz onde foi inserido pela ação da água. Não foi identificado prejuízo no aspecto ambiental quando comparadas as misturas contendo lodo têxtil em relação com misturas convencionais. Em



relação às formas de inserção, nota-se um desempenho ligeiramente superior na forma úmida, entretanto ambas são consideradas satisfatórias.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela bolsa de iniciação científica BIC-1184-3.01/20 e à coordenação e aos técnicos do Laboratório de Química (LQ) do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco pelo auxílio na realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

- AL-HDABI, A. Laboratory investigation on the properties of asphalt concrete mixture with Rice Husk Ash as filler. **Construction and Building Materials**, v. 126, p. 544-551, 2016.
- ANWAR, T. B. *et al.* Utilization of textile sludge and public health risk assessment in Bangladesh. **Sustainable Environment Research**, p. 1-6, 2018.
- AQUINO, R. C. Adição de resíduo de lodo da indústria têxtil na produção de blocos cerâmicos de vedação. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 10, n. 1, p. 29–35, 2015.
- BARRA, B. *et al.* Characterization of granite and limestone powders for use as fillers in bituminous mastics dosage. In: **Academia Brasileira de Ciências**. Anais [...]. Rio de Janeiro, v. 86, p. 995-1002, 2014.
- CHOI, M. J. *et al.* Performance evaluation of the use of tire-derived fuel fly ash as mineral filler in hot mix asphalt concrete. **Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)**, 2019.
- COMETTI, J. *et al.* Diagnóstico ambiental comparativo entre 2014 e 2015 das indústrias têxteis do município de Toritama-PE. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL**, VII, 2016. Anais [...]. Campina Grande/PB, 2016.
- EAPA. **Manifesto of the European Asphalt Pavement Association on the occasion of its 50th Anniversary 1973-2023** (2023) Disponível em: < <https://asefma.es/wp-content/uploads/2023/06/2023-manifesto-of-eapa-on-the-occasion-of-it-50th-anniversary-2.pdf>>. Acessado em 19 de abril de 2023.
- FERREIRA, M. N. **Incorporação de lodo de estação de tratamento de efluentes (ETE) de lavanderia industrial em cerâmica vermelha**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.
- GOYAL, S. *et al.* Utilization of textile sludge in cement mortar and paste. **Construction and Building Materials**, v. 214, p. 169-177, 2019.
- HEREK, L. C. S. Characterization of ceramic bricks incorporated with textile laundry sludge. **Ceramics International**, v. 38, p. 951-959, 2012.
- HOSSAIN, M. S. *et al.* Reuse of Textile Mill ETP Sludge in Environmental Friendly Bricks – Effect of Gamma Radiation. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 151, p. 77-83, 2018.
- JAMSHIDI, A. *et al.* Comparative study on engineering properties and energy efficiency of asphalt mixes incorporating fly ash and cement. **Construction and Building Materials**, v. 168, p. 295-304, 2018.



- JITSANIGAM, P. *et al.* Sustainable utilization of lime kiln dust as active filler in hot mix asphalt with moisture damage resistance. **Sustainable Materials and Technologies**, 2018.
- MODARRES, A. *et al.* Effect of coal waste powder in hot mix asphalt compared to conventional fillers: mix mechanical properties and environmental impacts. **Journal of Cleaner Production**, v. 91, p. 262-268, 2015.
- MOURA, L. S. **Utilização de lodo de tratamento têxtil em revestimentos asfálticos: uma análise mecânica, microscópica e ambiental**. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, CTG-UFPE/PE, Recife.
- PASANDÍN, A. M. R. *et al.* Moisture damage resistance of hot-mix asphalt made with paper industry wastes as filler. **Journal of Cleaner Production**, 2015.
- PUTRA JAYA, R. *et al.* Marshall stability properties of asphalt mixture incorporating black rice husk ash. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, p. 22056-22062, 2018.
- SOUTO, T. J. M. P. **Estudo do comportamento químico e ambiental de efluentes industriais e resíduos sólidos oriundos de lavanderias do polo têxtil no Agreste pernambucano**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE.
- VELUMANI, P. *et al.* An Innovative Approach to Evaluate the Performance of Sludge-Incorporated Fly Ash Bricks. **Journal of Testing and Evaluation**, v. 44, 2016.
- WOSZUK, A. *et al.* Fly ash as low cost and environmentally friendly filler and its effect on the properties of mix asphalt. **Journal of Cleaner Production**, v. 235, p. 493-502, 2019.
- ZANONI, S. M. **Reutilização de resíduos de indústria têxtil como matéria-prima em cerâmica vermelha**. 2013. Monografia (Trabalho de Conclusão de Estágio) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma/SC.
- ZHAN, B. *et al.* Recycling hazardous textile effluent sludge in cement-based construction materials: Physicochemical interactions between sludge and cement. **Journal of Hazardous Materials**, 2019.
- ZHAN, B.; POON, C. S. Study on feasibility of reutilizing textile effluent sludge for producing concrete blocks. **Journal of Cleaner Production**, v. 101, p. 174-179, 2015.