

TÉCNOLOGIAS DE PRÉ-TRATAMENTO DE LODO PARA O PROCESSO DE COPROCESSAMENTO

Ana J. W. Staudt¹; Mauricio A. Schmitt²

¹Universidade Luterana do Brasil campus Canoas, Departamento de Engenharia Química

²Universidade Luterana do Brasil campus Canoas, Departamento de Engenharia Química

E-mail para contato: anajuliawilsmann@gmail.com;

mauricio.schmitt@ulbra.br

RESUMO. *O aumento da industrialização levou a uma maior produção de resíduos, demandando métodos de gestão sustentáveis. Nesse contexto, o coprocessamento surgiu como uma alternativa viável aos aterros, ao reduzir a contaminação ambiental. Este estudo avalia a viabilidade técnica e ambiental da substituição da serragem por polímeros, especificamente o Ultra Solid, fabricado pela Gerais Solidificação de Resíduos, no pré-tratamento de resíduos de borra de tinta para coprocessamento. A pesquisa envolve testes de solidificação e análise das propriedades do resíduo, como poder calorífico, teor de umidade, teor de cinzas e presença de íons cloreto. Os resultados mostram que o polímero não apresentou vantagens significativas em relação à serragem em termos de redução de volume, custos e eficiência energética.*

Palavras-chave: Solidificação de resíduos, polímero Ultra Solid, serragem.

1. INTRODUÇÃO

A degradação ambiental e a geração de resíduos industriais têm sido temas críticos de debate nas últimas décadas, impulsionados pela crescente conscientização sobre a necessidade de práticas industriais mais sustentáveis. A Lei nº 12.305/2010, a qual institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, estabelece objetivos fundamentais, tais como a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento adequado dos resíduos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (Brasil, 2010).

A disposição não controlada de resíduos no solo pode resultar na poluição do ambiente de várias maneiras. Isso inclui a poluição do ar, devido à emissão de odores, fumaça, gases tóxicos ou partículas suspensas no ar, a poluição das águas superficiais, devido ao escoamento de líquidos percolados ou ao transporte de resíduos pela ação das águas pluviais, e a poluição do solo e das águas subterrâneas causada pela infiltração de líquidos percolados (Mazzer; Cavalcanti, 2004).

O setor de gestão de resíduos tem buscado soluções tecnológicas para minimizar o impacto ambiental causado pela disposição inadequada de resíduos perigosos. Com isso, o coprocessamento em fornos de cimento surge como uma alternativa promissora, utilizando resíduos industriais como substitutos parciais de combustíveis fósseis e matérias-primas naturais (Brasil, 2020). Além disso, o coprocessamento apresenta um custo similar ao do aterro, e ainda reduz odores, vetores, e a contaminação do solo e da água (Delanhese; Pacobello; Filho; Benedicto, 2023).

De acordo com Simião (2011), vários resíduos podem ser utilizados como combustível em fornos de clínquer, desde que possuam alto valor energético, uma vez que a produção de cimento requer que a temperatura do material ultrapasse 1.400°C. Dentre os principais resíduos coprocessados pela indústria nacional de cimento Portland, incluem-se o lodo de esgoto, tintas e solventes, borras ácidas, borras oleosas e graxas (SNIC, 2016).

Para que os resíduos sejam adequados ao coprocessamento, é necessário que passem por um tratamento prévio que garanta a estabilidade e a segurança do processo. Nesse contexto,

a utilização de resíduos semissólidos/líquidos no coprocessamento requer um material solidificado com bom poder calorífico para ser utilizado como matéria-prima na indústria cimenteira. Tradicionalmente, a serragem tem sido empregada como um agente de solidificação eficaz; no entanto, com a crescente conscientização ambiental, busca-se alternativas mais ecoeficientes (Rocha et al., 2011).

Para a solidificação dos resíduos líquidos, além da serragem, foi considerado o uso do polímero Ultra Solid®, fabricado pela Gerais Solidificação de Resíduos. A tecnologia de solidificação de resíduos líquidos por meio do Ultra Solid® pode ser aplicada a diversos resíduos líquidos ou semissólidos, eliminando o líquido livre (Gerais Solidificação de Resíduos, 2020). O rendimento do solidificador Ultra Solid® é de 1 kg para 100 litros de fluido aquoso, dependendo das características físico-químicas do resíduo. A faixa de pH na qual o solidificador atua é entre 4 e 9. Além disso, ele busca reduzir os custos de transporte e descarte ao eliminar a presença de líquidos, garantindo segurança durante a gestão (Gerais Solidificação de Resíduos, 2020).

Além da necessidade de material solidificado, a seleção dos resíduos destinados ao coprocessamento exige cuidado especial, uma vez que a composição final dos blends precisa atender aos critérios técnicos para a combustão nos fornos rotativos de clínquer, além de cumprir os parâmetros estabelecidos na legislação e as características específicas solicitadas pelas cimenteiras. Esses critérios são essenciais e de acordo com Maier et al (2011, apud Meystre, 2016), nas análises do Combustível Derivado de Resíduo (CDR), os principais parâmetros utilizados são o poder calorífico, teor de umidade, cinzas e cloro, sendo os mais importantes o poder calorífico e o teor de cloro.

O poder calorífico pode ser descrito como a quantidade de calor liberada durante a combustão completa de uma unidade de massa de combustível, geralmente expressa em kJ.kg^{-1} . Essa propriedade é de extrema importância, especialmente quando se considera o uso de resíduos como fonte de energia em substituição aos combustíveis fósseis (Avelar, 2012).

De acordo com Shumal et al. (2020), um dos fatores cruciais na produção do Combustível Derivado de Resíduo (CDR) é a quantidade de cloro presente, pois altos níveis podem aumentar o risco de entupimento dos equipamentos.

Tendo como base os estudos de Shumal et al. (2020), a umidade desempenha um papel crucial na composição do CDR, já que sua presença em quantidades excessivas no início do processo pode diminuir o poder calorífico do combustível.

Segundo Avelar (2012), o teor de cinzas é a porcentagem de material inerte que não produz calor, logo, o aumento do teor de cinzas irá diminuir o valor do poder calorífico, pois as cinzas não contribuem para o calor total liberado pela combustão.

Este trabalho busca avaliar a viabilidade técnica e ambiental da serragem e do polímero Ultra Solid na solidificação de borra de tinta, com o objetivo de identificar qual material oferece melhor desempenho em termos de poder calorífico, teor de cloro, umidade e cinzas. Para isso, foram realizadas análises físico-químicas da borra de tinta, testes comparativos entre os solidificantes e uma avaliação dos impactos ambientais e financeiros de sua utilização.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia deste estudo foi desenvolvida para avaliar a viabilidade do uso de serragem e do polímero Ultra Solid na solidificação de borra de tinta para coprocessamento. Os testes foram conduzidos no laboratório da PROAMB, utilizando amostras fornecidas pela empresa. Foram avaliados dois materiais: serragem e Ultra Solid, da Gerais Solidificação de Resíduos. A borra de tinta foi caracterizada como um resíduo semissólido, adequado para os testes.

Foram realizadas solidificações com 20g de borra de tinta, usando 7,3302g de serragem em um teste e 25,8846g de Ultra Solid em outro, com o objetivo de determinar a quantidade ideal para coprocessamento. As análises físico-químicas incluíram poder calorífico inferior (PCI), teor de íons cloreto, umidade e teor de cinzas, seguindo normas como EPA 5050, SMEWW 2540 E e ISO 18122:2022, essenciais para a adequação dos resíduos ao coprocessamento.

O poder calorífico foi medido com um calorímetro, conforme figura 1, onde a amostra foi oxidada por combustão em uma bomba pressurizada com oxigênio a 30 bar. Os compostos halogenados foram absorvidos em uma solução de carbonato e bicarbonato de sódio, (EPA 5050).

Figura 1 – Calorímetro



Fonte: Autora (2024)

Para a titulação dos íons seletivos, os gases foram coletados em um frasco Erlenmeyer com 100mL de água deionizada e 10mL de solução de bicarbonato e carbonato de sódio ($\text{NaHCO}_3/\text{Na}_2\text{CO}_3$), e a titulação foi realizada com solução indicadora de cromato de potássio (K_2CrO_4), conforme figura 2, e nitrato de prata (AgNO_3) a 0,023 N, identificando o ponto final quando a solução adquiriu coloração vermelho-tijolo.

Figura 2 – Amostra mais cromato de potássio



Fonte: Autora (2024)

Para determinar a umidade, foram realizados testes com a serragem e o polímero Ultra Solid separadamente, sem misturá-los à borra de tinta. Também foi medida a umidade da borra de tinta para comparação. Cada amostra foi colocada em uma balança determinadora de umidade, conforme ilustrado na figura 3.

Figura 3 – Resíduo na balança determinadora de umidade



Fonte: Autora (2024)

Para determinar o teor de cinzas, uma amostra do resíduo foi aquecida em um forno mufla a 800°C por 120 minutos. O material restante após o aquecimento corresponde às cinzas. Primeiramente, a serragem e o polímero Ultra Solid foram testados separadamente. Em seguida, o mesmo processo foi aplicado às borras de tinta solidificadas com cada um desses materiais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Solidificação do resíduo de borra de tinta

Os experimentos de solidificação utilizaram amostras de borra de tinta combinadas com serragem e o polímero Ultra Solid. A serragem apresentou maior eficiência na absorção e controle da umidade em comparação ao polímero. Para solidificar uma amostra de aproximadamente 20g de borra de tinta foram necessárias 7,3302g de serragem e 25,8846g de polímero.

A tabelas 1 apresenta a quantidade necessárias de serragem e de polímero para a solidificação de 1kg do resíduo de borra de tinta. A comparação indica que, para solidificar 1kg de borra de tinta, seriam necessários 903,87g a mais de polímero Ultra Solid em comparação à serragem.

Tabela 1 – Comparativo de solidificação serragem

QUANTIDADE DE SERRAGEM PARA A SOLIDIFICAÇÃO DA BORRA DE TINTA		
Borra de tinta (g)	20,3430	1000
Serragem (g)	7,3302	360,33

Fonte: Autora (2024)

Poder Calorífico

A análise de poder calorífico inferior (PCI) indicou que a serragem possui maior potencial energético (PCI de 2351,96 kcal/kg) em comparação ao polímero (1995,83 kcal/kg). A mistura de serragem com borra de tinta também apresentou um PCI superior, sugerindo uma solução mais eficiente para o tratamento de resíduos, conforme tabela 2.

Tabela 2 – Poder calorífico serragem versus polímero

Amostras	PCS (kcal/kg)	PCI (kcal/kg)
Serragem	2651,96	2351,96
Polímero	2295,83	1995,83
Borra + Serragem	5091,30	4791,30
Borra + Polímero	4043,96	3743,96

Fonte: Autora (2024)

Íons Cloreto

A titulação com nitrato de prata (AgNO_3) a 0,023 N foi finalizada ao atingir a coloração vermelho tijolo no ponto final, conforme mostrado na figura 4.

Figura 4 – Amostra mais nitrato de prata



Fonte: Autora (2024)

Os resultados da titulação com nitrato de prata mostraram que o polímero Ultra Solid é mais eficaz na retenção de íons cloro, apresentando uma concentração de 0,079%, em comparação com 0,22% na serragem. Essa diferença também pode ser atribuída ao fato de que foi necessária uma quantidade muito maior de polímero para solidificar a amostra de borra de tinta em comparação à serragem.

Teor de Umidade

Conforme evidencia a tabela 3, a borra de tinta apresentou umidade de 40%, enquanto a serragem teve 49,1% e o polímero 34%. A mistura com serragem resultou em uma umidade de 46%, indicando uma leve redução. A mistura com o polímero, porém, apresentou uma umidade elevada de 64,1%, o que é desfavorável para o coprocessamento.

Tabela 3 – Teor de umidade

Material	Umidade (%)
Borra de Tinta	40
Serragem	49,1
Polímero	3,4
Borra de Tinta + Serragem	46
Borra de Tinta + Polímero	64,1

Fonte: Autora (2024)

Teor de Cinzas

A serragem apresentou um baixo teor de cinzas (0,1%), enquanto o polímero apresentou um teor elevado (49,3%), conforme tabela 4. A mistura de borra de tinta com serragem resultou em 26,1% de cinzas, e com polímero, em 29,5%. A menor quantidade de cinzas gerada pela serragem reforça sua adequação ao coprocessamento.

Tabela 4 – Teor de cinzas

Material	Cinzas (%)
Serragem	0,1
Polímero	49,3
Borra de tinta + Serragem	2,61
Borra de tinta + Polímero	29,5

Fonte: Autor (2024)

Limites do blend para coprocessamento

Através da tabela 5 é possível comparar os resultados das análises da mistura de borra de tinta com o Ultra Solid com os limites estabelecidos pelas legislações vigentes, CONAMA nº 499/2020 e CONSEMA nº 479/2022.

Tabela 5 – Limites legislação versus solidificação com o polímero

Parâmetros	Limites estabelecidos pela Legislação*	Borra + Ultra Solid
PCS	>3500 Kcal/Kg	4043,96 Kcal/Kg
PCI	>1620 Kcal/Kg	3743,96 Kcal/Kg
Umidade	<15%	64,10%
Cinzas	<20%	29,50%
Cloro	<0,5%	0,08%

*CONAMA nº 499/2020 e CONSEMA nº 479/2022

Fonte: Autora (2024)

De acordo com os limites estabelecidos pelas legislações CONAMA nº 499/2020 e CONSEMA nº 479/2022 para que um resíduo possa ser coprocessado, os parâmetros limitantes para o uso do polímero Ultra Solid como solidificante são o teor de umidade e de cinzas.

Análise da Eficácia e Custos



O custo da serragem (R\$0,05/kg) é significativamente menor que o do polímero Ultra Solid (R\$78/kg), tornando-a uma opção mais viável economicamente para o coprocessamento, apesar de suas limitações ambientais em aterros sanitários.

A tabela 6 apresenta uma comparação dos custos envolvidos na solidificação de 1 kg de borra de tinta utilizando serragem e o polímero Ultra Solid.

Tabela 6 – Custos para solidificar 1Kg de resíduo

CUSTO PARA SOLIDIFICAR 1Kg DE BORRA DE TINTA (R\$)	
Serragem	0,02
Polímero	98,60

Fonte: Autora (2024)

Em resumo, a serragem se destaca como material solidificante mais eficiente e econômico, enquanto o polímero Ultra Solid, embora mais caro, é mais eficaz na redução de íons cloreto, sendo indicado para a disposição segura de resíduos em aterros sanitários industriais.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho avaliou a viabilidade do polímero Ultra Solid e da serragem para solidificação de resíduos para coprocessamento. Diversos experimentos e análises comparativas foram realizados para identificar as vantagens e desvantagens de cada material.

Os resultados mostram que o polímero Ultra Solid atende a alguns parâmetros das legislações CONAMA nº 499/2020 e CONSEMA nº 479/2022, como poder calorífico (4043,96 Kcal/Kg) e teor de cloro (0,079%). No entanto, seus altos valores de umidade (64,1%) e cinzas (29,5%) são insatisfatórios. Comparado à serragem, o polímero não oferece vantagens significativas e seu alto custo de R\$78/kg, em contraste com os R\$0,05/kg da serragem, torna-o inviável para coprocessamento em larga escala.

Para resíduos destinados a aterros sanitários industriais, especialmente aqueles sem poder calorífico e inadequados para coprocessamento, o polímero Ultra Solid é a melhor opção. Ele proporciona maior estabilidade e segurança ambiental, ao contrário da serragem, que pode se desprender do resíduo solidificado e causar contaminação do solo.

O reaproveitamento da serragem, um resíduo das serrarias, é crucial para o coprocessamento. Ao usá-la como material solidificante, reduz-se o desperdício e o impacto ambiental, pois o resíduo é reintegrado ao ciclo produtivo, diminuindo a necessidade de matérias-primas virgens.

Em resumo, o polímero Ultra Solid, apesar das limitações econômicas, é essencial para a solidificação e disposição segura de resíduos em aterros sanitários industriais. A serragem é eficiente e econômica para coprocessamento, mas deve ser usada com cautela devido aos riscos de percolação líquida em aterros.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aqui está a lista em ordem alfabética:

AVELAR, Nayara Vilela. Potencial dos resíduos sólidos da indústria têxtil para fins energéticos. Dissertação. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2012.



BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 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. Disponível em <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso: 10 de setembro de 2023.

DELANHESE, B.C. do N.; PACOBELLO, D. R.; FILHO, C.F. da S.; BENEDICTO, S. C. Coprocessamento dos resíduos sólidos como alternativa para minimizar o descarte em aterros sanitários. Revista Contemporânea, v. 3, p.12678-12697, ago. 2023.

Gerais solidificação de resíduos. Linha industrial. Disponível em: <<https://geraissolidificacao.com.br/linha-industrial/>>. Acesso: 09 de dezembro de 2023.

MAZZER, Cassiana; CAVALCANTI, Osvaldo Albuquerque. Introdução à gestão ambiental de resíduos. Infarma Ciênc Farmac, v. 16, p. 11-12, 2004.

MEYSTRE, Josué de Almeida. Análise do coprocessamento de resíduo sólido urbano na indústria de cimento Portland no Brasil. Tese de doutorado. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016.

ROCHA, S. D. F.; LINS, V. F. C.; SANTO, B. C. E. Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer. Revista Engenharia Sanitária Ambiental, v. 16, n. 1, p. 1-10, 2011.

SHUMAL, Mohammad; JAHROMI, Ahmad Reza Taghipour; FERDOWSI, Ali; DEHKORDI, Seyed Mohammad Mehdi Noorbakhsh; MOLOUDIAN, Amin; DEHNAVI, Ali. Comprehensive analysis of municipal solid waste rejected fractions as a source of Refused Derived Fuel in developing countries (case study of Isfahan- Iran): environmental impact and sustainable development. Renewable Energy, v. 146, p. 404-413, 2020.

SIMIÃO, Juliana. Gerenciamento de resíduos sólidos industriais em uma empresa de usinagem sobre o enfoque da produção mais limpa. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2011.

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. Coprocessamento, 2016. Disponível em:<<http://snic.org.br/sustentabilidade-coprocessamento.php>> Acesso: 18 de novembro de 2023.