



TRATAMENTO DE RESÍDUO SÓLIDOS DE INDÚSTRIA DE ALUMÍNIO: ESTABILIZAÇÃO POR SOLIDIFICAÇÃO DA BAUXITA.

Mônica Josy Trajano França¹, André Luiz Fiquene de Brito²

RESUMO

A busca por tratamentos eficazes e economicamente viáveis para o gerenciamento de resíduos sólidos provenientes da Bauxita é um desafio significativo. Uma abordagem eficaz para a disposição final de rejeitos de mineração, especialmente aqueles classificados como perigosos, é o uso da técnica de tratamento de resíduos sólidos de laboratório por meio da estabilização/solidificação (E/S). A presente pesquisa teve o objetivo de realizar o tratamento de resíduos sólidos industriais contendo bauxita, usando a estabilização por solidificação em matrizes de cimento. Na primeira etapa foi realizada a confecções dos corpos de provas a base do cimento Portland comum, foi estabelecido um tempo de cura de 14 dias e um percentual de 25% de lama vermelha. Na segunda etapa foi realizado o ensaio de resistência à compressão. Na terceira etapa foi realizada as análises de sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis. Na quarta etapa foi realizado o ensaio de lixiviação usando as amostras dos corpos de prova confeccionados. Na quinta etapa foi realizado o ensaio de demanda química do oxigênio (DQO) utilizando o extrato lixiviado. Os resultados obtidos mostra que a bauxita apresenta restrições moderadas de lançamentos em relação a condutividade com valor de 1118,30 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os corpos de prova apresentaram uma integridade boa da matriz de cimento de 7,97 MPa e podem ser utilizados na construção civil e descartados em aterros sanitários. Em relação ao DQO observou-se que houve uma redução significativa na concentração de DQO tratado de 4.780,22 mgO_2/L com o DQO no resíduo solido bruto de 8.159,34 mgO_2/L . Pode-se concluir que a E/S é uma alternativa viável para tratar a lama de bauxita.

Palavras-chave: Lama vermelha, Meio ambiente, Metais pesados, Encapsulamento.

¹Aluna de Engenharia química, Departamento de Engenharia química, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: monica.josy@estudante.ufcg.edu.br

²Prof. Doutor Titular. Doutor em Engenharia ambiental. Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento. Unidade Acadêmica de Engenharia química, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: andre.l Luiz@professor.ufcg.edu.br

TREATMENT OF SOLID WASTE FROM THE ALUMINUM INDUSTRY: STABILIZATION BY SOLIDIFICATION OF BAUXITE

ABSTRACT

The search for effective and economically viable treatments for the management of solid waste from bauxite is a significant challenge. An effective approach for the final disposal of mining waste, especially those classified as hazardous, is the use of the laboratory solid waste treatment technique through stabilization/solidification (I/S). The present research aimed to treat industrial solid waste containing bauxite, using stabilization by solidification in cement matrices. In the first stage, the test specimens were prepared based on common Portland cement, a curing time of 14 days and a percentage of 25% red mud were established. In the second stage, the compressive strength test was performed. In the third stage, the analyses of Total Solids, Total Fixed Solids and Total Volatile Solids were performed. In the fourth stage, the leaching test was performed using samples from the test specimens prepared. In the fifth stage, the chemical oxygen demand (COD) test was performed using the leached extract. The results obtained show that bauxite presents moderate release restrictions in relation to conductivity with a value of 1118.30 $\mu\text{S}/\text{cm}$. The test specimens present a good integrity of the cement matrix of 7.97 MPa and can be used in civil construction and discarded in landfills. In relation to the COD, it was observed that there was a significant reduction in the concentration of treated COD of 4,780.22 mgO_2/L with the COD in the raw solid residue of 8,159.34 mgO_2/L . It can be concluded that E/S is a viable attempt to treat bauxite sludge.

Keywords: Red mud, Environment, Heavy metals, Encapsulation.

1. INTRODUÇÃO

Diante do avanço tecnológico, o mundo está passando por constantes mudanças e os impactos ambientais causados pelo despejo inadequado de resíduos sólidos estão, cada vez mais, presentes em sociedade.

Incidentes como o rompimento das barragens de Fundão em 2015 e Brumadinho em 2019 aumentaram a preocupação dos órgãos públicos, resultando em maior fiscalização e criação de legislações específicas para barragens de rejeito. Esse cenário expandiu a demanda por projetos e consultoria geotécnica, sendo a devolução adequada da área de depósito uma exigência crucial dos órgãos ambientais. (CALVACANTE, 2023).

De acordo com a Revista Alumínio, o Brasil possui a quarta maior reserva de bauxita do mundo: em 2018, o País produziu 32 milhões de toneladas do material, sendo que boa parte desse volume é industrializada. Dessa forma, todos os anos são gerados toneladas do rejeito da mineração de bauxita.

A busca por tratamentos eficazes e economicamente viáveis para o gerenciamento de resíduos sólidos é um desafio significativo. A disposição final de rejeitos da mineração, especialmente os considerados perigosos, tem sido objeto de regulamentações mais rigorosas, exigindo das empresas alternativas mais seguras de tratamento e disposição. A técnica de tratamento de resíduos sólidos de laboratório por meio da estabilização/solidificação (E/S) é utilizada há mais de 64 anos (SPENCE; SHI, 2005). Seu objetivo é melhorar o manuseio dos resíduos, encapsular contaminantes e limitar sua mobilidade no ambiente (BRITO, 2007), além de fornecer um material com alta resistência e durabilidade. A estabilização/solidificação utilizando cimento é eficaz no tratamento de resíduos perigosos contendo metais pesados, minimizando a lixiviação de contaminantes.

A E/S utilizando o cimento Portland é o método mais aplicado em pesquisas e tratamentos de resíduos sólidos, pois a composição do cimento é consistente de fonte para fonte e as configurações dos processos de endurecimento do cimento são claramente compreendidas. (CONNER; HOFFNER, 1998).

Neste contexto, o presente trabalho teve o objetivo de realizar o tratamento de resíduos sólidos industriais contendo bauxita usando a estabilização por solidificação em matrizes de cimento.

2. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Gestão Ambiental e Tratamento de Resíduos (LABGER). Situada na UFCG/CCT/UAEQ. A pesquisa foi realizada em 04 etapas, descritas a seguir:

- 1º Etapa: Confecção dos corpos de provas;
- 2º Etapa: Avaliação da integridade;
- 3º Etapa: Análises físicas e químicas;
- 4º Etapa: Ensaio de lixiviação;
- 5º Etapa: Análise de DQO.

Nesta pesquisa, foi adotado um fator (percentual de resíduo sólido) e fixando o tempo de cura em 14 dias como é possível observar na tabela 1. Inicialmente, foram realizados testes com 03 repetições para cada nível, totalizando 6 experimentos. O percentual estudado foi de 15 e 25% de resíduo sólido (Lama vermelha de bauxita).

Tabela 1. Valores determinado para o CP através de cálculos.

Material	Massa *
M_{cimento}	112,50
M_{RS(Bauxita)}	28,13
M_{areia}	309,36
M_{Água}	56,25

LEGENDA - RSL: Resíduo Sólido

*: Valor em Função de 15 e 25% de Resíduo sólido

Fonte: Autoria própria (2024)

Os dados e as figuras foram analisados e confeccionadas respectivamente usando o software MINITAB®(2019). Versão de 19.0.

ETAPA I: CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Inicialmente, foram pesados os aglomerantes e o resíduo sólido juntos em uma balança analítica com precisão de 0,01 g como é possível observar na figura 1-A. Os aglomerantes e o resíduo sólido foram adicionados em uma bacia representado pela figura 1-C e misturados, registrando o momento em que os aglomerantes entraram em contato com a água para obter uma massa homogênea.

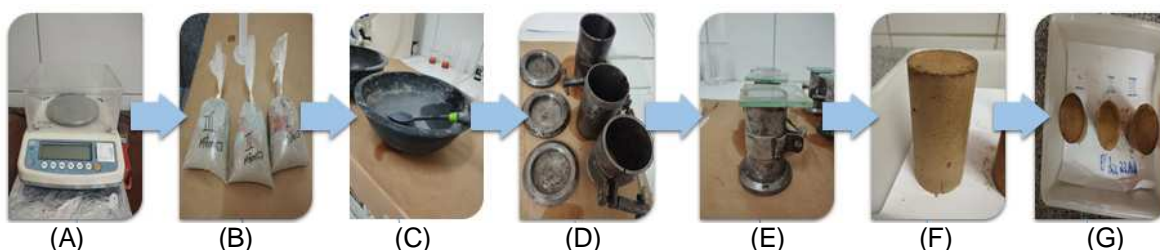
Os moldes cilíndricos observados na figura 1-D foram previamente lubrificados com óleo mineral para facilitar o desmolde dos corpos de prova. Em seguida, a pasta foi colocada gradualmente no interior dos moldes que está sendo mostrado na figura 1-E, com cautela para comprimir bem utilizando um bastão de

vidro. A base do molde será batida suavemente sobre a bancada do laboratório para evitar a formação de vazios no corpo de prova.

Para evitar a perda de água, placas de vidro de 70 mm por 70 mm e de 5 mm de espessura serão lubrificadas com óleo mineral e colocadas na superfície dos moldes.

Os corpos de prova foram deixados em repouso por um período de 24 horas para endurecimento da pasta como é possível observar na figura 1-F. Após este período, eles foram retirados dos moldes e deixados por um período de 14 dias de tempo de cura para atingirem a maturidade adequada como é possível observar na figura 1-G. Em seguida, foram realizados os ensaios referentes aos critérios de integridade e durabilidade.

Figura 1. Etapas dos procedimentos realizadas para a confecção dos cp.



(A) Balança analítica utilizada para pesar o resíduo e os aglomerantes. (B) Amostras separadas em frações iguais para a preparação do CP. (C) Bacia utilizada para obter a massa homogênea. (D) moldes cilíndricos previamente lubrificadas com óleo mineral. (E) Pasta colocada no interior dos moldes e coberta com placas de vidro. (F) (G) Corpos de prova retirados dos moldes para atingirem a maturidade adequada.

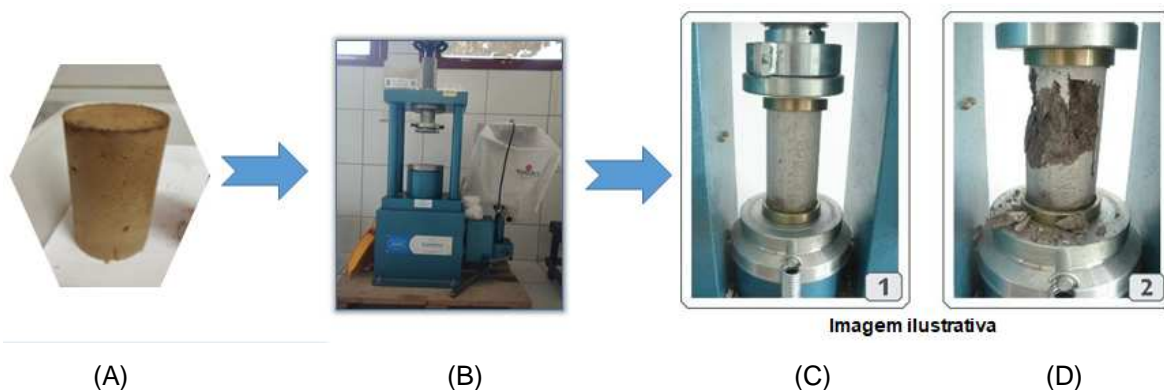
Fonte: Autoria própria (2024).

ETAPA II: AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE

No ensaio de Resistência a compressão (RC) como é possível observar na figura 2, foram utilizados corpo de provas cilíndricas de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, os quais foram postos diretamente sobre o prato inferior de uma prensa, de maneira que ficassem centrados em relação ao eixo de carregamento. A medida de resistência foi calculada pela expressão (1), em kgf.Cm², considerando a carga aplicada (F) e a área da seção do corpo de prova (A), em seguida foi convertido para MPA.

$$RC(Kgf.cm^2)= F/A \quad (Eq. 1)$$

Figura 2. Etapas para a realização da avaliação de integridade.



(A) CP após 14 dias de cura. (B) Prensa manual, marca CONTENCO e modelo PAVITEST. (C) (D) ilustração da força aplicado no CP para obter a Resistencia a compressão.

Fonte: Autoria própria (2024).

ETAPA III: ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Foram realizadas as análises de Sólidos Totais, Sólidos Totais Voláteis, Sólidos Totais Fixos, Teor de umidade e DQO. Os seguintes passos foram realizados para a obtenção dos dados, foi colocadas cápsulas de porcelana limpas na estufa por 1 hora como é possível observar na figura 3-A, para eliminação total da umidade; em seguida colocou no dessecador observado na figura 3-B até uniformizar a temperatura; Pesou as cápsulas na balança; Adicionou 05 gramas de resíduo em cada uma delas; Deixou secar em estufa por 2 horas à temperatura de 103-105°C; Retornou o resíduo ao dessecador até esfriar; Pesou novamente; Levou o resíduo para incinerar à temperatura de 600°C no forno mufla por 4 horas; Esfriou a amostra no dessecador, e pesou novamente, calculando o resultado a partir das seguintes expressões:

$$SólidosTotais(\%) = \left[\frac{(B - A)}{(C - A)} \right] * 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

$$Umidade (\%) = 100 - ST \quad (\text{Eq.3})$$

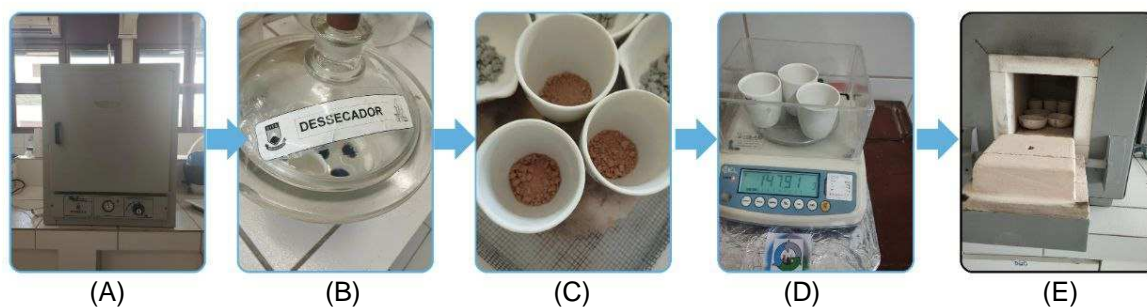
$$SólidosTotaisVoláteis(\%) = \left[\frac{(B - D)}{(B - A)} \right] * 10 \quad (\text{Eq. 4})$$

$$SólidosTotaisFixos(\%) = \left[\frac{(D - A)}{(B - A)} \right] * 100 \quad (\text{Eq.5})$$

Em que:

- A: peso da cápsula
- B: peso da cápsula + amostra seca a 105°C
- C: peso da cápsula + amostra úmida
- D: peso da cápsula + resíduo calcinado

Figura 3. Etapas para a realização das análises de STV, ST, STF e H2O.



(A) Estufa utilizada durante o processo. (B) Foram colocados no dessecador os cadinhos após serem submetidos à estufa para eliminação de impurezas. (C) Foram adicionados 05 gramas de resíduo em cada um dos cadinhos e colocados em uma estufa a 105 °C durante 2 horas. (D)

Fonte: Autoria própria (2024)

Em um Becker foi adicionado 500 mL de água destilada, em seguida a água foi fervida e deixada em repouso até esfriar para eliminar o dióxido de carbono (CO₂), após essa etapa foi pesada 05g da amostra, Adicionou-se a amostra em 50 mL de água isenta de dióxido de carbono (CO₂), fervida anteriormente na proporção (1:10), a amostra foi deixada em repouso por 24h, em seguida, foi realizado as leituras de pH, condutividade, percentual de cinzas e sólidos totais dissolvíveis com o auxílio de um pHmetro modelo DM-22, marca DIGIMED.

ETAPA IV: ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO

Para realizar o ensaio de lixiviação, inicialmente, foram pesadas 33,93 g de cada amostra (base seca), dos CP confeccionadas anteriormente em triplicata, as quais foram colocadas individualmente em um frasco com capacidade 2000 ml com a solução lixiviante (solução extratora 1 composta por ácido acético glacial, solução de NaOH 1N e água). Em seguida, a solução foi submetida à agitação, em um equipamento rotativo a 30 rpm, Figura 4, permanecendo em agitação por um período de 18 ± 2 horas, ABNT NBR 10.005 (ABNT NBR 10.005, 2004).

Figura 4- Equipamento de Lixiviação.



Fonte: Autoria própria (2024).

Após o tempo de contato do meio lixiviante, o mesmo foi filtrado com um filtro para obter o extrato lixiviado, no qual foi possível determinar o pH, STD, condutividade cinzas e DQO.

ETAPA V: Análise de DQO

A avaliação da (DQO) foi realizada com o objetivo de determinar o teor de matéria orgânica presentes no extrato lixiviado. O ensaio para determinação de DQO foi realizado através das seguintes etapas: primeiro foi diluído em 1:30 a amostra e, em seguida pipetado 1,5 ml da solução digestora num tubo de digestão, após foi adicionado 2,5 ml da amostra e 3,5 da solução catalisadora.

Além disso, foi preparada a prova em branco com 2,5 ml de água destilada no lugar da amostra, em seguida fechou os tubos de ensaio e homogeneizou, colocando para digerir durante 2 horas a 150°C como é possível observar na figura 5, foi preparada a amostra padrão com 1,5 ml da solução digestora e acrescentou 1,5 ml de água destilada e 3,5 ml de ácido sulfúrico concentrado.

Figura 5- Tubos de ensaio colocados durante 2 horas a 150°C no Bloco Digestor de Dry-Block.



Fonte: Autoria própria (2024).

Após a amostra ser digerida por duas horas, foi transferido o conteúdo para um erlenmeyer, então foi completada com água destilada para um volume de 25 ml e em seguida adicionada uma gota de ferroína a amostra. Em seguida foi realizada a titulação com a solução de sulfato ferroso amoniacal como é possível observar na figura 6.

Figura 6- bureta e erlenmeyers utilizados na titulação.



Fonte: Autoria própria (2024).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA BAUXITA E DOS AGLOMERANTES

Na tabela 2 estão apresentados os valores de cinzas, sólidos totais dissolvidos, condutividade e pH da Bauxita, do cimento e da areia analisados separadamente.

Tabela 2. Valores de Cinzas, Sólidos totais dissolvidos, condutividade, pH(bauxita) e aglomerantes.

Parâmetros	Bauxita	Areia	Cimento
Cinzas (%)	1,97	0,41	243,43
STD (ppm)	539,63	146,3	3490,00
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1118,30	260,00	6200,00
pH	9,00	9,18	12,79

STD: Sólidos Totais Dissolvidos; pH: Potencial Hidrogeniônico.

Fonte: Autoria Própria (2024)

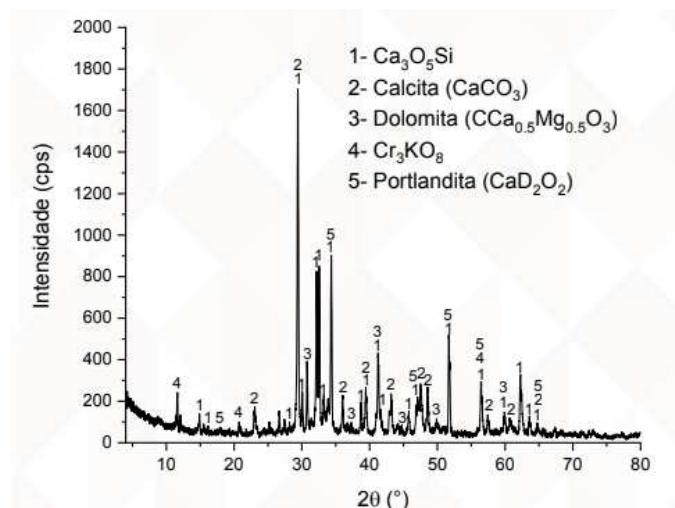
De acordo com AYERS & WESTCOT(1985) um líquido (efluente) que apresente: Condutividade menor que $700 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ não tem restrição de lançamento; Na faixa entre 700 a $3.000 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ tem restrição moderada de lançamento e acima de $3.000 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ tem restrição severa de lançamento.

Com relação à condutividade elétrica, que é um parâmetro de qualidade de irrigação e avaliação indireta da salinidade areia não apresentam restrição de uso para irrigação, diferente da bauxita que apresenta restrições moderadas para lançamento e o cimento que apresenta restrições severas para lançamento.

Ao analisar o pH obtido na tabela 2 é possível observar que a bauxita e os aglomerantes possuem pH com caráter alcalino, tendo em vista que o pH se encontra na faixa de 9,00 a 12,79.

Os resultados das análises químicas do cimento Portland comum estão sendo apresentados na figura 7. A análise dessa amostra consiste em Tricalcium Silicate ($\text{Ca}_3\text{O}_5\text{Si}$); Calcita (CaCO_3); Dolomita ($\text{CCa}_{0,5}\text{Mg}_{0,5}\text{O}_3$); Cr_3KO_8 e Portlandita (CaD_2O_2), as intensidades absolutas dos principais picos de difração do tricalcium Silicate- 1 e da calcita-2 são representados figura 7.

Figura 7- Difratogramas de raios X do CPC.

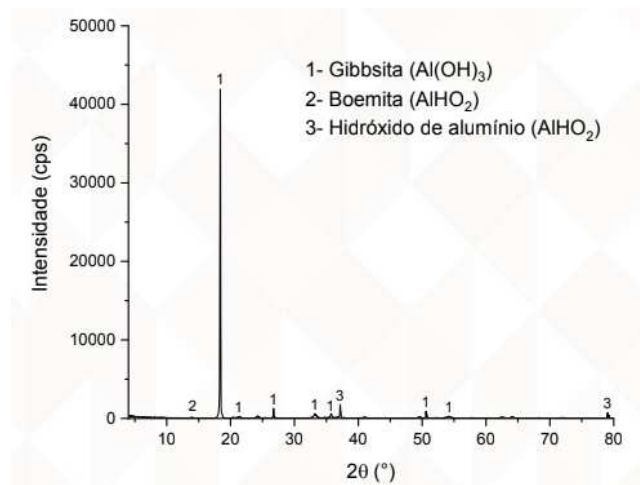


Fonte: Laboratório de Caracterização Microestrutural(LABSATC).

Os resultados das análises químicas da bauxita bruta estão sendo apresentados na figura 8.

A mineralogia dessa amostra consiste em gibbsita em maior quantidade; Boehmita e Hidroxido de alumínio, a intensidade absoluta do principal pico de difração da gibbsita está sendo representado na figura 8.

Figura 8- Difratomogramas de raios X da Bauxita Bruta.



Fonte: Laboratório de Caracterização Microestrutural(LABSATC) (2024).

3.2 RESISTENCIA A COMPRESSÃO

Na Tabela 3 estão apresentados os valores obtidos para ensaio de resistência a compressão (RC).

Tabela 3. Resultados obtidos da resistência a compressão.

Idade – Corpo de prova	Amostras	Carga(kgf)	RC(MPa)
14 (dias)	1	1503,00	7,51
	2	1555,00	7,74
	3	1731,00	8,65
	Media	1596,30	7,97

Fonte: Autoria Própria (2024).

De acordo com Brito (2007), para que um material seja aprovado, de acordo com a integridade e durabilidade é necessário que sejam satisfeitos os critérios máximos e mínimos permissíveis: (I) utilização sem restrição o material E/S deve apresentar um $RC > 1$ MPA.

Analisando os dados obtidos, pode-se observar que o experimento com 25% de RSL foi aprovado como um material estabilizado por solidificação conforme Brito (2007) determinou, podendo ter diversas utilizações, como uso de material termoplástico, bloco vazado em concreto comum, material de base em pavimentação, dentre outras finalidades.

3.3 UMIDADE, SÓLIDOS TOTAIS, SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS E SÓLIDOS TOTAIS FIXOS

Na tabela 4 estão os valores de sólidos totais e as frações obtidas após a adição de 25% de resíduos sólidos em uma mistura de cimento, areia e água.

Tabela 4. Resultados obtidos das análises de sólidos totais e umidade dos materiais.

Amostras	%ST	%STV	%STF	%H ₂ O
1	97,68	9,09	90,90	2,32
2	97,46	5,56	94,43	2,54
3	97,10	5,79	94,20	2,90
Media	97,41	6,81	93,18	2,59

ST: Sólidos Totais; STF: Sólidos Totais Fixos; STV: Sólidos Totais Voláteis; H₂O: Umidade; RSL.
Fonte: Autoria Própria (2024).

Analizando os dados da Tabela 4, observa-se que o material tratado apresentou baixo percentual de umidade. A determinação do teor de umidade possibilita identificar a quantidade de água livre presente no material por meio da diferença de massa antes e após a amostra permanecer na estufa a 105°C até a sua massa ser constante.

Em relação ao percentual de sólidos totais, que é o conjunto de todas as substâncias orgânicas e inorgânicas presente em uma amostra, pode-se observar que não houve uma variação nas amostras. É possível observar que o material tratado, mesmo com as mesmas porcentagens de resíduos e submetidos a temperaturas iguais de cura se manteve com características semelhantes aos dos aglomerantes antes da mistura. Apresentando um elevado teor de material inorgânico, em torno de 93,17 % como pode ser observado pelo percentual de STF e o baixo teor de material orgânico, variando entre 5,56 % a 9,09 % como demonstrado no percentual de STV.

Segundo Lima (2018), o teor de sólidos é um parâmetro importante para que o resíduo fique estável quando disposto em aterro. De acordo Von Sperling (1996), quando os sólidos são submetidos a uma temperatura elevada (550°C), sua fração orgânica é oxidada (volatilizada), restando apenas a fração inerte (não oxidada) após a combustão. Os sólidos voláteis representam uma estimativa da matéria orgânica nos sólidos, ao passo que os sólidos não voláteis (fixos ou inertes) representam a matéria inorgânica ou mineral.

3.4 ANÁLISE DO EXTRATO LIXIVIADO

Na tabela 5 estão os valores de cinzas, sólidos totais dissolvidos, condutividade e pH da Bauxita, do cimento e da areia no extrato lixiviado.

Tabela 5. Valores de Cinzas, Sólidos totais dissolvidos, condutividade e pH após a lixiviação.

Amostras	pH	Condutividade(μ S/cm)	STD(ppm)	Cinzas(%)
1	11,21	4440,00	2119,00	24,43
2	11,09	4310,00	2088,00	28,52
3	10,97	4410,00	2031,00	27,25
Media	11,09	4386,67	2079,30	26,73

STD: Sólidos Totais Dissolvidos; pH: Potencial Hidrogeniônico
Fonte: Autoria Própria (2024).

Ao comparar os resultados da Tabela 2 com os da Tabela 5, obtidos após a lixiviação, observa-se que todos os tratamentos mantêm o caráter alcalino(em relação ao pH). Em relação à condutividade elétrica, os valores apresentados na Tabela 5 indicam uma restrição severa para o descarte de acordo com AYERS & WESTCOT(1985).

A tabela 6 apresenta parâmetros de PH, STD, ST, condutividade e DQO para águas pluviais, a água da chuva é originalmente pura, mas ao tocar uma superfície de coleta, ela se contamina com diversas impurezas como poeira, terra, pólen, folhas, galhos e excrementos de aves. Em áreas sem acesso a sistemas públicos de abastecimento, é comum encontrar sistemas de captação de água da chuva sendo usados para consumo. No entanto, em áreas urbanas, essa água geralmente é destinada a usos não potáveis, (Santana & Medeiros, 2017).

Em relação à tabela 6 (características da águas pluviais) é observado que o pH apresenta característica levemente acidas o que difere da tabela 5 (pH dos materiais E/S) em que o pH é considerado alcalino.

Em relação aos sólidos dissolvidos é perceptível observar que apresentam valores maiores na tabela 5 que variam entre 2119 a 2031 ppm quando comparados com os valores da tabela 6, isso se deve ao fato que há metais sob a forma de moléculas dissolvidos na água diferente da água pluvial que esta em sua forma pura.

Tabela 6. Características das águas Pluviais

Parâmetros	Bauxita
pH	6,2 a 6,7
Sólido dissolvido (ppm)	32,7 a 54,3
Sólido Total (mg/L)	64 a 255
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	65.440 a 108.500
DQO (mg/L)	0 a 150

Fonte: Santana et al.(2017).

3.5 ANÁLISE DE DQO

A demanda química de oxigênio (DQO) está relacionada à quantidade de matéria orgânica presente na amostra analisada.

O Ministério da Saúde conforme a Portaria nº 2914(2011) e o CONAMA Resolução 430 (2011) estabelecem como limite máximo permissível para a demanda química de oxigênio a concentração de 1000 mg.L^{-1} ou 20000 mg.kg^{-1} em efluentes para serem dispostos no meio ambiente.

Na Tabela 7 encontram-se os resultados para o ensaio da demanda química de oxigênio para o extrato lixiviado.

Tabela 7. Resultados obtidos das análises de DQO e metais pesados.

% do contaminante	DQO(mgO_2/L)	Eficiência (%)
Resíduo Bruto	8.159,34	-
15%	3.205,13	60,72%*
25%	4.780,22	41,41%*

Fonte: Autoria Própria (2024).

*: Eficiência em relação ao Resíduo Bruto

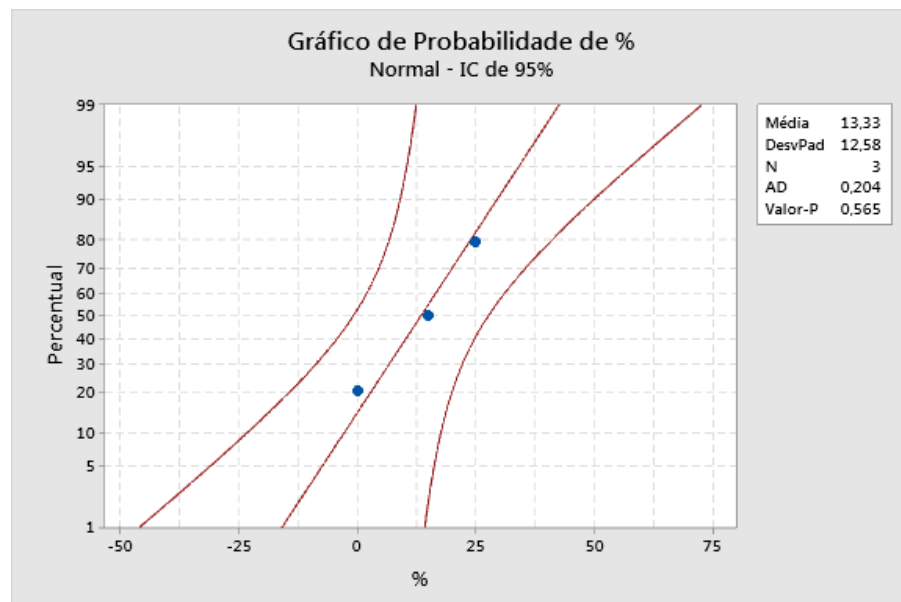
Ainda na perspectiva de classificar os tratamentos em perigosos ou não perigosos, observou-se na Tabela 7 que houve uma redução significativa na concentração de DQO (25%) comparando a concentração de DQO no RS bruto ($8159,34 \text{ mg.L}^{-1}$) com os demais experimentos, porém, todos os experimentos foram reprovados no parâmetro de DQO, uma vez que apresentaram concentração acima do LMP de 1000 mg.L^{-1} estipulados pelo MS.

Apesar disso, de acordo com a Tabela 7, pode-se observar que todos os tratamentos realizados apresentaram eficiência na retenção do resíduo na matriz cimentícia, reduzindo a lixiviação do RS para o meio ambiente.

O tratamento com menor percentual de resíduo e maior tempo de cura apresentou a maior eficiência na imobilização do contaminante (60,72%) enquanto o experimento com maior percentual de RSL e submetido à menor tempo de cura apresentou a menor eficiência (41,41%).

De acordo com o comportamento dos dados na figura 9 (Gráfico de probabilidade) pode se concluir que os dados apresentaram um comportamento normal (segundo a distribuição normal de Anderson-Darling – AD), pois o valor de P foi 0,565. Para ocorreu uma distribuição normal o *valor de P* deve ser maior que 0,05.

Figura 9- Gráfico de % de resíduo sólido x percentual do DQO.



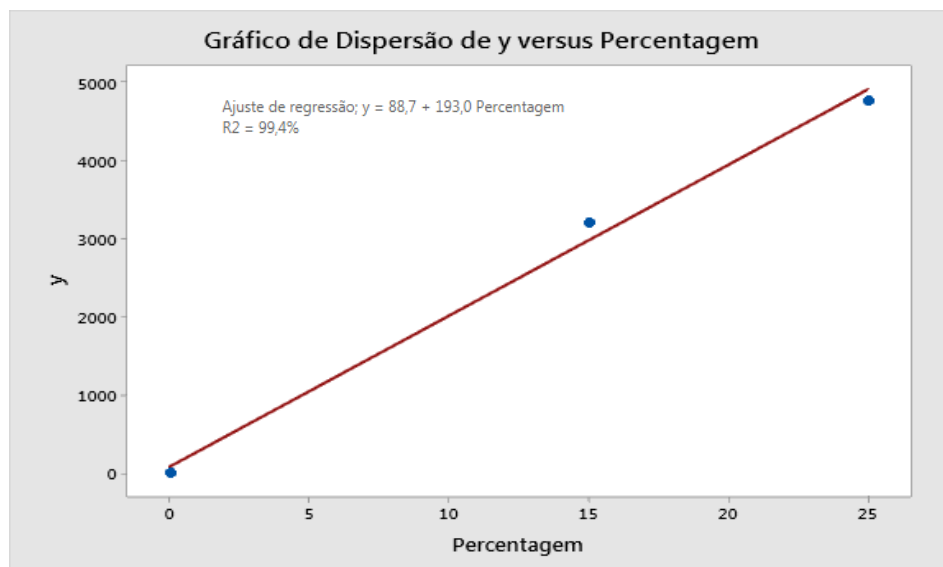
Fonte: Autoria própria (2024).

A Figura 10 mostra o gráfico linear de dispersão de Resíduo Sólido x DQO. Na figura 10, o valor de R^2 foi 0,994 representando uma explicação do modelo de 99,4%.

Com relação ao modelo ajustado a partir da regressão dos dados de porcentagem de da bauxita(RS) em função do DQO (bruto e tratado), obteve a equação 6 de ajuste de regressão:

$$Y = 88,7 + 193,0 \text{ Porcentagem} \quad (\text{Eq.6})$$

Figura 10 - Gráfico linear de dispersão de Resíduo Sólido x DQO.



Fonte: Autoria própria (2024).

4. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos pode-se concluir que:

- ✓ A caracterização inicial dos materiais revelou que tanto a bauxita quanto o cimento e a areia possuem características alcalinas, com pH variando de 9,00 a 12,79. No que tange à condutividade elétrica, observou-se que o cimento apresenta uma restrição severa de lançamento, enquanto a bauxita também apresenta restrições moderadas, de acordo com os parâmetros estabelecidos por AYERS & WESTCOT (1985).
- ✓ A resistência à compressão dos materiais, após a incorporação de 25% de resíduo sólido (RS), superou o critério mínimo de 1 MPa conforme Brito (2007), indicando que o material tratado apresenta potencial para aplicações construtivas diversas, como em blocos de concreto, materiais de base para pavimentação e até em usos termoplásticos. Este desempenho satisfatório é corroborado pela elevada proporção de sólidos totais fixos, que reflete a predominância de material inorgânico, fator crucial para garantir a estabilidade em aterros sanitários, conforme sugerido por Lima (2018).

- ✓ A análise de lixiviação evidenciou que, após o tratamento, os materiais continuam apresentando um caráter alcalino acentuado, e níveis de condutividade elétrica que implicam restrição severa para lançamento.
- ✓ A avaliação da demanda química de oxigênio (DQO) revelou uma significativa redução na concentração após o tratamento; contudo, os valores ainda excedem o limite máximo permissível estabelecido pelas normas ambientais. Entretanto, apresentam uma eficiência na imobilização dos contaminantes de 60,72% e 41,41%.

5. AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a UFCG, CNPQ, PET-EQ, e LABGER pelo suporte e recursos disponibilizados para a realização desta pesquisa. Por fim, agradeço ao meu orientador pelo apoio contínuo ao longo de todo o processo da pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005) NBR 9778. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **Water quality for agriculture**. Roma: FAO, 1985. 174 p. Irrigation and Drainage Paper, 29, Rev. 1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9781 Peças de concreto para pavimentação. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - *ABNT NBR 10.004: Resíduos Sólidos - Classificação*. CENWin, Versão Digital, ABNT NBR 10.004, 71p, 2004_a. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - *ABNT NBR 10.005: Procedimentos para obtenção de Extrato Lixiviado de Resíduos Sólidos*. CENWin, Versão Digital, 16p, 2004_b.

ARAÚJO, Felipe Ruben Vieira. **Análise do uso de rejeito de bauxita para execução de superfície de conformação de barragens em processo de descaracterização**. 2023. Graduação – Engenheiro Civil – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2023.

BRITO, A. L. F; PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE MATERIAIS RESULTANTES DA ESTABILIZAÇÃO POR SOLIDIFICAÇÃO DE RESÍDUOS. Doutor—[s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

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.

CAVALCANTE, Laedson Eneas. **Tratamento de resíduos sólidos de laboratório utilizando a técnica de estabilização por solidificação**. 2021. Pós- Graduação – Engenharia Química – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2021.

LABSTC (2024). Disponível em: <<https://pnipe.mcti.gov.br/laboratory/12960>>.

Acesso em: 24 set. 2024.

MINITAB INC. STATISTICAL SOFTWARE – Data Analysis Software. Version 19.0, 2019.

SAMPAIO, J., ANDRADE, M., & DUTRA, A. (2005). Bauxita. CETEM/MCT. SILVA FILHO, E.B., ALVES, M.C. M., DA MOTTA, M., Revista Matéria, v. 12, n. 2, pp. 322 – 338, 2007.

SANT’ANA.R.D, MEDEIROS P.B.L(2017). **Aproveitamento de Águas Pluviais e Réuso de Águas Cinzas em Edificações Padrões de qualidade, critérios de instalação e manutenção**. [documento PDF]. https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/abastecimento_agua_esgotamento_sanitario/regulacao/reuso_aguas_cinza_aproveitamento_aguas_pluviais/reusodf_2_padroes_qualidade.pdf

SHI, C., SPENCE, R., 2004. Designing of cement-based formula for solidification/stabilization of hazardous, radioactive, and mixed wastes. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 34, 391e 417.

SHI, C.; SPENCE, R. Designing of cement-based formula for solidification/stabilization of hazardous, radioactive and mixed wastes. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 34, p. 391 – 417, 2005.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.