

ESTABILIZAÇÃO "FÍSICO-QUÍMICA" DE RESÍDUO SULFETADO/SULFATADO COM INCORPORAÇÃO DE ESCÓRIA DE DESSULFURAÇÃO

"PHYSICAL-CHEMICAL" STABILIZATION OF SULFETATED/SULFATED RESIDUE WITH INCORPORATION OF DESSULFURATION SLAG

Meneguete, Dayanne Severiano; *Ufes, Vitória, Brasil, daysmeneguete@gmail.com*

Salgado, Naycou Giovani de Paula; *Ufes, Vitória, Brasil, naycou@gmail.com*

Pires, Patrício José Moreira; *Ufes, Vitória, Brasil, patricio.pires@gmail.com*

Izoton, Sidineidy; *Ufes, Vitória, Brasil, sidineidy.izoton@hotmail.com*

RESUMO

O objetivo desta pesquisa é avaliar o comportamento físico-químico do resíduo produzido no processo de extração de ouro da mineradora Kinross, localizada na cidade de Paracatu-MG, Brasil. Este resíduo foi associado à escória de dessulfuração, um resíduo produzido no processo siderúrgico. Além de melhorar as características mecânicas da mistura, como a resistência à compressão axial e a capacidade de suporte, a pesquisa visa verificar se as concentrações de sulfeto/sulfato finais estão dentro dos limites propostos pela ABNT (2004), Resíduos Sólidos – Classificação. No processo de preparação das amostras foi utilizada a escória de dessulfuração em concentrações: 20%, 30% e 40% em relação ao resíduo de mineração. Os melhores resultados foram para as amostras com 40% de concentração de escória de dessulfuração que permitiram um ganho de 1450%, na capacidade de suporte, visto que o ISC (Índice de Suporte Califórnia) do resíduo de mineração foi de 1,68%, após 96 horas de ensaio. A amostra com 40% de escória de dessulfuração proporcionou um ISC de 24,37%, após 96 horas e um ISC de 63,93% ao final de 28 dias. Além disso, ao se analisar as concentrações de sulfeto/sulfato das soluções coletadas através do ensaio de Coluna, pode-se verificar que as amostras apresentam em sua solução solubilizada concentrações maiores que 250 mg/L de Sulfato, o que permite classificar o resíduo segundo a ABNT (2004), como um resíduo Não Perigoso e Não Inerte - Classe II A. Sendo assim, esse material apresenta propriedades tais como: a biodegradabilidade, a combustibilidade ou a solubilidade em água. Logo, após as análises do comportamento físico-químico, constata-se a viabilização sustentável entre a incorporação dos dois resíduos na aplicação em estradas vicinais. Isto porque o composto final apresentou um bom comportamento mecânico e não nocivo a saúde humana, destacando-se ainda mais pela reutilização de resíduos que antes eram apenas descartados no meio ambiente.

ABSTRACT

The purpose of this research is to assess the physical-chemical behavior of the residue produced in the gold extraction process of the mining company Kinross, localized in the city of Paracatu-MG, Brazil. This residue was combined with desulfuration slag, a residue produced in the steelwork process. Besides improving the mechanic characteristics of the mixture, as the resistance to axial compression and capacity of support, the research aims to verify if the final concentrations of sulfeto/sulfate are within the limits proposed by ABNT (2004), Solid Residues - Classification. In the preparation process of the samples were used desulfuration slag in concentrations of: 20%, 30% and 40% regarding the mining residue. The best results were attained with 40% of concentration of desulphurisation dreg that allowed 1450% gain in the capacity of support, since the ISC (Índice Suporte Califórnia) of the mining residue was 1,68% after 96 hours of trial and the sample with 40% of desulfuration slag provided a ISC of 24,37% after 96 hours and a ISC of 63,93% after 28 days. Besides that, when analyzing the sulfeto/sulfate concentrations of the samples collected by the Coluna trial, was verified that the samples show concentrations above 250mg/L of Sulfate in their solubilized solution, what allows to classify it as a Not Hazardous and Not Inert Residue - Class II A, by the ABNT (2004). Therefore, this material exhibits properties as biodegradability, as combustibility or as solubility in water. Therefore, after the reviews of the physical-chemical behavior, the tenable viability of the incorporation of the two residues in application in back roads is verified. This is because the final compound showed a good mechanical behavior and was not harmful to human health, standing out further for the reuse of residues that before were just discarded in the environment.

1 - INTRODUÇÃO

Empresas como indústrias de mineração e siderurgias são as responsáveis pela movimentação de milhões de dólares na economia do país. Por exemplo, segundo o Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM, (2016), devido à grande variedade e quantidade de jazidas em sua extensão territorial, a indústria de mineração brasileira atingiu os US\$ 40 bilhões em produção, o que representou 5% do PIB industrial do país.

Em contrapartida a toda essa produção e crescimento econômico, estes setores são responsáveis pela produção de um grande volume de resíduos sólidos, por exemplo, a indústria siderúrgica gera por tonelada

de aço produzido 700 kg de resíduos sólidos, estimativa essa feita pela Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM em 2008.

No caso da mineração, se tem um processo altamente impactante para as condições naturais no planeta, por esse procedimento envolver a extração de recursos naturais não renováveis, mas necessários para a manufatura de vários produtos. Logo, associado à exploração mineral tem-se a produção dos resíduos sólidos, que aumentam na mesma escala que o processo de extração.

Isto posto, fica evidente de que além de uma destinação ideal, esses resíduos necessariamente precisam ser reaproveitados de alguma forma. Nesse aspecto, surgem vários estudos voltados para a aplicação dos resíduos siderúrgicos, por exemplo, na construção civil. Um exemplo, é a aplicação desse material como agregado para o melhoramento e estabilização do solo, na aplicação em base e sub-base na pavimentação. Esse processo de reutilização de resíduos siderúrgicos na pavimentação é vantajoso, pois quando bem sucedido evita a utilização de materiais nobres, como, os elencados por Azêvedo (2010), para estabilização de solos, sendo estes: o solo-cimento, o solo-cal e o solo-betume.

Assim, surge a temática desta pesquisa. Verificar o comportamento físico-químico do resíduo proveniente da extração do ouro incorporado à escória de dessulfuração (resíduo siderúrgico), afim de reaproveitá-lo no processo de pavimentação para áreas dentro da própria mineradora em estradas vicinais.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - Resíduo de mineração de ouro

O resíduo é oriundo da Mineradora *Kinross*, localizada, nas coordenadas latitude 17°11'9" S e longitude 46°52'41" W, próxima à nascente do Rio Córrego Rico. A mina está na sub bacia do Rio Paracatu, que pertence à bacia do Rio São Francisco em Paracatu, Minas Gerais (CETEM, 2012). A mineradora se encontra a 10,3 km da cidade, pela Rodovia Juscelino Kubitschek.

Henderson (2006) apresenta um perfil (Figura 1) de uma seção de sondagem longitudinal da região da mineradora, onde é possível observar o teor do aurífero e a presença de sulfetos metálicos.

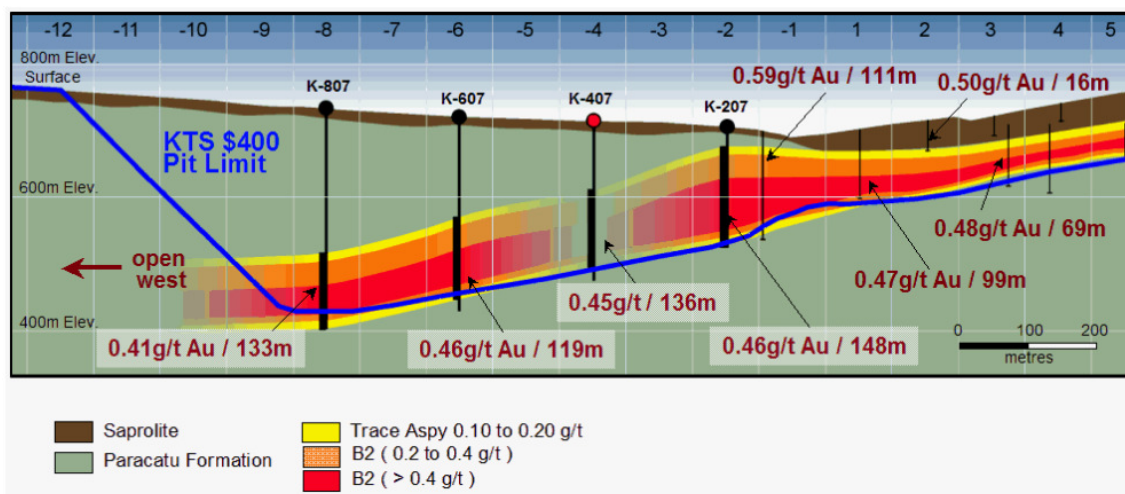


Figura 1 – Seção de Sondagem 07N – Vista para o Norte

Segundo Henderson (2006), um dos grandes problemas da extração do ouro é a produção dos sulfetos. Na Mineradora *Kinross*, os sulfetos predominantes são a arsenopirita (arsênio), a pirita (ferro), a pirrotita (pirita magnética) e, em quantidades menores, podem ser encontradas, a calcopirita (cobre), a esfalerita (zinco) e a galena (chumbo).

Esses materiais podem atingir os mananciais da região ou as águas subterrâneas, se lixiviados para o subsolo. A ocorrência desse processo poderia gerar a contaminação das águas e, assim, prejudicar todos os seres vivos. Dessa forma, é evidente que tratar o rejeito produzido pela mineradora é uma necessidade que vai muito além de estocar esse material, mas sim dar uma destinação mais proveitosa para o rejeito.

2.2 - Aditivo – escória de dessulfuração

A escória de dessulfuração utilizada foi escolhida principalmente devido estudos anteriores, realizados na Universidade Federal do Espírito Santo – Brasil, que mostraram um desempenho relevante desse composto quando adicionado ao solo. Por exemplo, no trabalho apresentado por Gonçalves (2016), a capacidade de

suporte de uma das amostras apresentou um ganho de, quase, 3 vezes o valor inicial do Índice suporte califórnia (ISC) do material puro.

A escória utilizada já possui uma caracterização química prévia, fornecida pela empresa ArcelorMittal e publicada no trabalho de Gonçalves (2016), no qual é possível identificar que este resíduo é classificado pela ABNT (2004), como material da Classe II A – Resíduo Não Inerte. Outro fator relevante é a concentração dos óxidos de enxofre presentes na caracterização química da escória fornecidos também pela ArcelorMittal, Quadro 1.

Quadro 1 – Elementos Químicos do Coproduto

| Elemento Químico | Quantidade (%) |
|--------------------------------|----------------|
| Al ₂ O ₃ | 5,19 |
| C | 2,42 |
| CaO | 54,6 |
| FeM | 5,25 |
| FeO | 10,5 |
| FeT | 15,5 |
| MgO | 3,2 |
| MnO | 0,77 |
| S | 1,41 |
| SiO ₂ | 9,92 |
| ZnO | 0,0001 |

No Quadro 1 é possível observar concentração baixa de Enxofre (S) na amostra da escória. Mas, mesmo, em baixas concentrações esse enxofre deve ser considerado visto que a escória será incorporada a um resíduo que por ser proveniente de uma mineradora de ouro espera-se que este também apresente certa concentração de Enxofre. Logo, a união destes dois materiais deve favorecer a formação de elementos sulfetados/sulfatados.

2.3 - Amostras

O levantamento dos dados se iniciou pela coleta das amostras de resíduo da região estudada pela própria mineradora. O material coletado na mineradora foi enviado para o laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Espírito Santo. De posse deste resíduo foram determinadas as misturas que seriam adotadas para a execução dos ensaios, entre o resíduo de mineração e a escória de dessulfuração, sendo os percentuais adotados de 20%, 30% e 40% de escória de dessulfuração em função do resíduo de mineração. Essas amostras/ensaios foram ensaiadas em quantidades distintas para cada material conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Análise Química Básica do Resíduo de Mineração

| Ensaio | Amostras | Nº de Amostras Ensaçadas |
|------------------|----------------|--------------------------|
| Granulometria | Amostras 1 a 5 | 5 |
| ISC | Amostras 1 a 5 | 40 |
| Compressão Axial | Amostras 1 a 5 | 40 |
| Análise Química | Amostras 1 e 2 | 2 |
| Coluna | Amostras 1 a 5 | 10 |
| Solubilização | Amostras 1 a 5 | 5 |

2.4 - Programa experimental

A partir da coleta das amostras do resíduo, este foi ensaiado em laboratório. A primeira etapa realizada foi a preparação das amostras, feita conforme ABNT (2016) - Amostras de Solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Dentro desse processo laboratorial, o solo foi caracterizado quando as suas características geotécnicas e químicas.

Em linhas gerais, foi feita a caracterização geotécnica do resíduo de mineração para classificá-lo segundo o sistema HRB e o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), a análise do comportamento mecânico deste material de forma isolada e com a adição da escória de dessulfuração, a caracterização/análise química para se verificar propriedades como: a Capacidade de Troca de Cátions, o pH e a concentrações de sulfeto/sulfato.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando geotecnicamente o resíduo da mineração de ouro constatou que o material era heterogêneo granulometricamente, apresentando cerca de 33,84% de pedregulho, 23,64% de areia, 33,37% de silte e 9,15% de argila, (Figura 2), e um índice de plasticidade de 11,90%. Sendo assim, classificado pelo Sistema

Unificado de Classificação de Solos como uma areia argilosa com pedregulho e pelo sistema HRB como um solo A-6 (2).



Figura 2 – Caracterização Granulométrica do Resíduo de Mineração de Ouro

3.1 - Índice suporte califórnia – ISC

Foram determinados os Índice de Suporte Califórnia (ISC) para as amostras, segundo a norma proposta pelo DNIT (2014): o Índice Suporte Califórnia, variando o período de imersão do material, que foi de 96 horas e de 28 dias conforme a Figura 3.



Figura 3 – Amostras - Ensaio de Índice Suporte Califórnia

Essa variação no tempo de ensaio para 28 dias, foi feita com o intuito de se verificar o ganho de resistência em função do tempo para as amostras com a adição de escória de dessulfuração, visto que esse material possui características cimentícias.

As amostras em imersão durante 96 horas, geraram um ganho considerável sobre a amostra com apenas o resíduo de mineração. Esse ganho é de 14 vezes o valor do ISC, para o material puro, o que pode ser identificado na Figura 4.

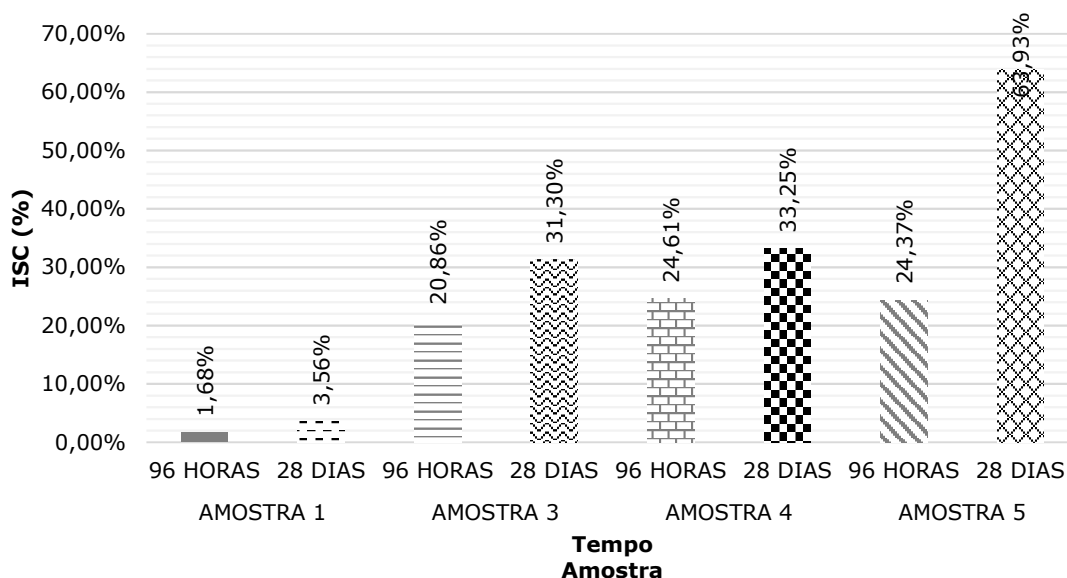


Figura 4 – Resultados - Ensaio de Índice Suporte Califórnia

Em equivalência, os resultados obtidos após 28 dias de imersão do material apresentaram ainda maior ganho para as amostras com 40% de escória de dessulfuração. O ISC, que inicialmente era de 1,68% passou para 63,93%. O que se aproxima das especificações propostas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Sobre a expansão através do Ensaio ISC, onde foram feitas as leituras e verificadas as expansões sofridas pelas amostras com 96 horas de submersão e com 28 dias de submersão, a Figura 5 mostra os resultados.

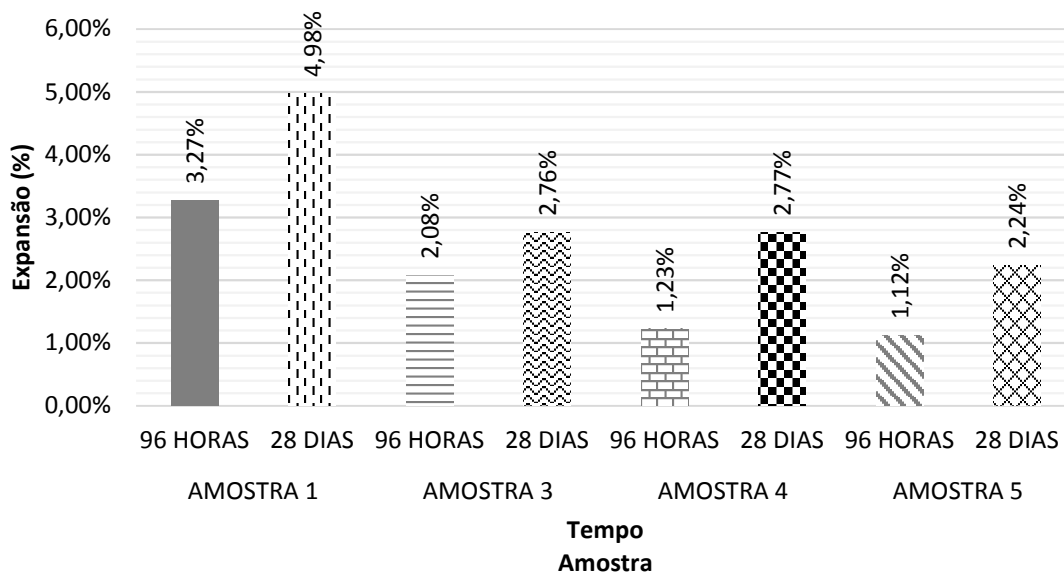


Figura 5 – Resultados Expansão - Ensaio de Índice Suporte Califórnia

Um dos fatores que mais se destaca nos resultados é a ótima interação entre os dois resíduos. No caso das amostras com o percentual de 40% de escória de dessulfuração em sua composição, além do ganho de capacidade de carga já mencionado, a expansão para o ensaio padrão de 96 horas obteve uma redução de quase 3 vezes em relação à condição inicial onde o resíduo da mineradora de ouro estava sem presença de escória de dessulfuração.

3.2 - Compressão Axial

Os ensaios para verificar a resistência a compressão axial do material estudado, foram feitos seguindo as diretrizes determinadas nas normas ABNT (2012a) e ABNT (2012b).

Os corpos de prova preparados também foram analisados em duas etapas. Na primeira etapa foi feita a compressão dos corpos de prova com 7 dias de cura, e a segunda bateria de ensaios foi realizada após 28 dias, conforme Figura 6.

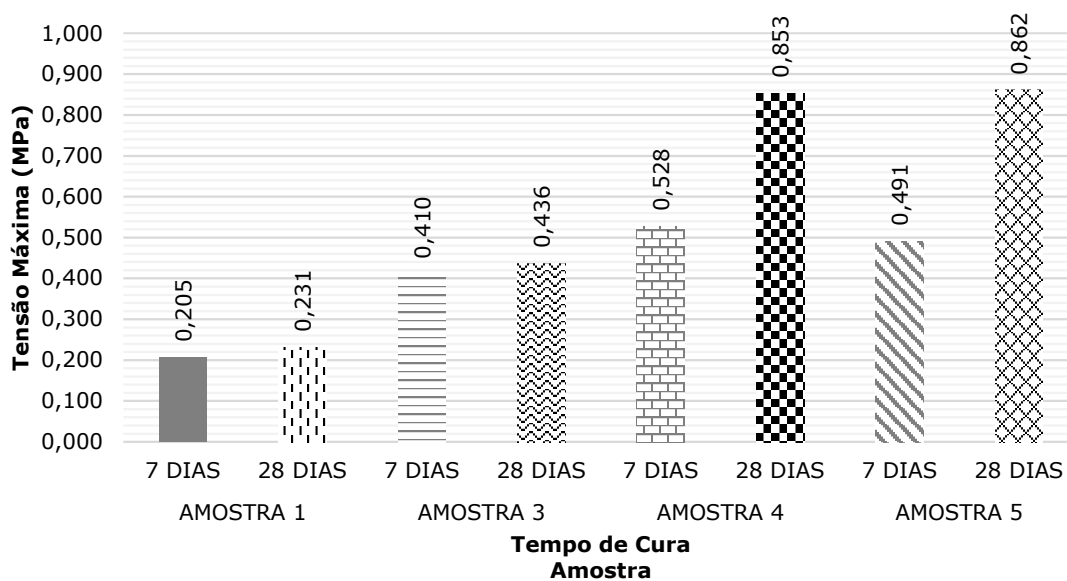


Figura 6 – Resultados – Resistência à Compressão Axial

É possível verificar que as adições de escória ao resíduo proporcionaram um ganho de resistência à compressão axial relativamente efetivo, em todas as misturas, no qual nota-se um ganho mínimo de 100%. Mas as amostras com 30% e 40% de escória de dessulfuração, que ficaram em cura por 28 dias, apresentaram trincas, que podem estar associadas à expansão do material conforme Figura 7.

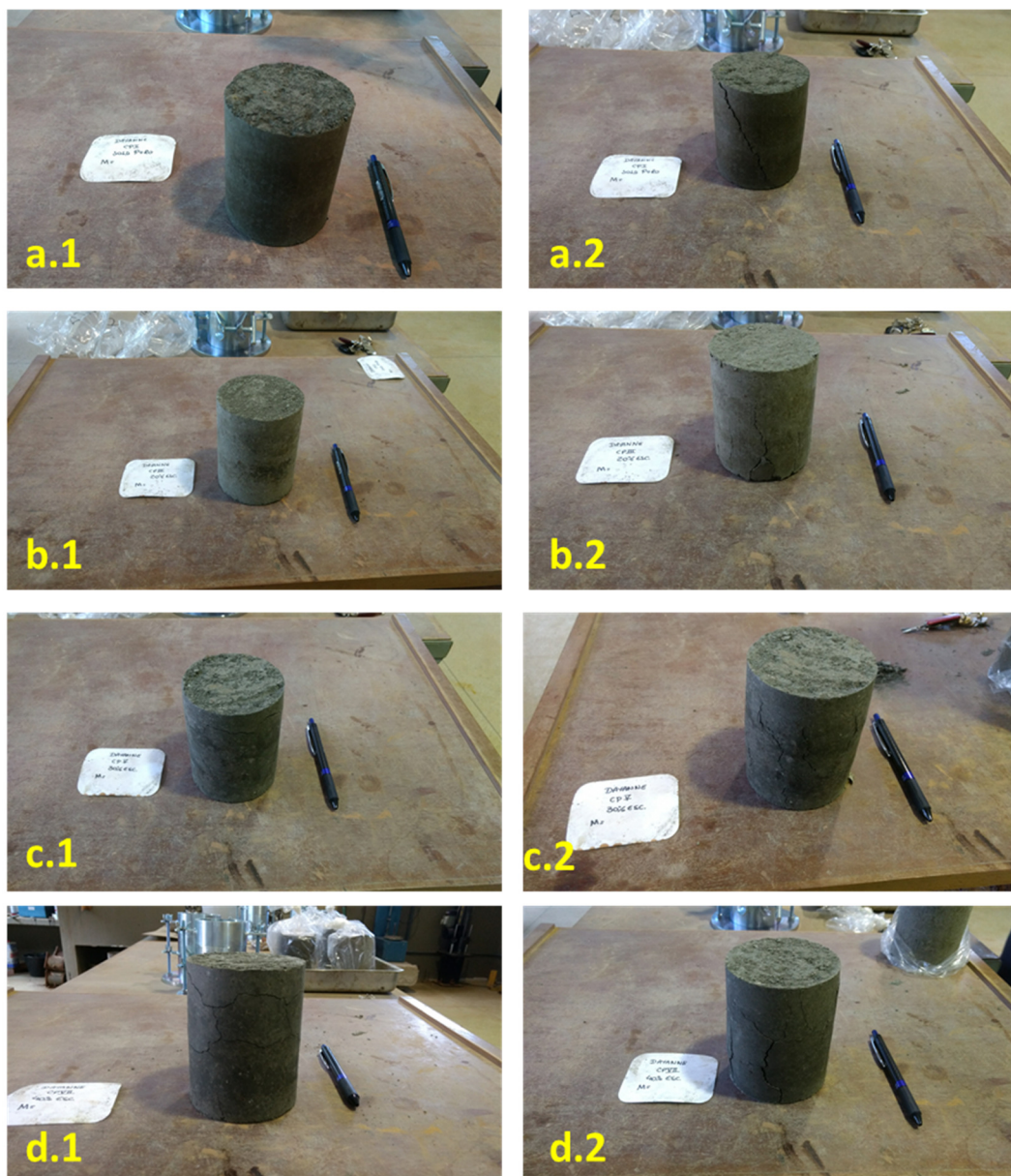


Figura 7 – Amostras do Ensaio de Compressão Axial aos 28 dias – (1) Antes do Ensaio, (2) Depois do Ensaio

As amostras com índice 1 representam as amostras antes do ensaio, recém retiradas da câmara úmida após os 28 dias, e as amostras com índice 2 representam as amostras após o ensaio de compressão axial.

É possível verificar que principalmente as amostras c.1 e d.1, que representam os corpos de prova com 30% e 40% de escória adicionada ao resíduo sofreram o que pode ser entendido como uma dilatação, e isso gerou as trincas horizontais nas amostras. Este ensaio foi feito para verificar se tal aspecto se repetia, e as novas amostras mantiveram o mesmo comportamento. Mesmo com esse fator, as amostras apresentam um ganho expressivo de resistência ao final dos 28 dias. Em média a resistência aumentou pelo menos 4 vezes.

3.3 - Análise Química

Os ensaios para determinar a composição química da amostra 1 (resíduo) e da amostra 2 (escória KR), tiveram por objetivo principal verificar a presença de elementos sulfetados ou sulfatados, principalmente na amostra 1 (resíduo), devido a sua origem.

Os resultados obtidos em Laboratório apresentam, para as duas amostras, capacidades de trocas de cátions relativamente expressivas em relação aos cátions de Cálcio e Magnésio (Quadro 3). Além disso, é possível verificar que o resíduo apresenta um pH mais neutro, equivalente à 7,19. Em contrapartida a escória possui um pH extremamente básico, equivalente à 11,94. O valor elevado de pH da escória se justifica pela grande concentração de óxido de cálcio presente no material.

Quadro 3 – Análise Química Básica do Resíduo de Mineração

| Determinações | | Metodologia | Resíduo | Escória | |
|---------------|-------------------|-----------------------|---------|---------|-------|
| P | Resina | mg/dm ³ | IAC | 53 | 14 |
| M.O. | Oxidação | g/dm ³ | IAC | 13 | 33 |
| COT | Cálculo | g/dm ³ | IAC | 8 | 19 |
| pH | CaCl ₂ | - | IAC | 5,4 | 12 |
| pH | SMP | - | IAC | 7,19 | 11,94 |
| C.T.C | Cálculo | mmolc/dm ³ | IAC | 233,6 | 57,9 |
| K na C.T.C | Cálculo | % | IAC | 0,7 | 3,3 |
| Ca na C.T.C | Cálculo | & | IAC | 44,5 | 91,5 |
| Mg na C.T.C | Cálculo | % | IAC | 49,7 | 5,2 |
| Al na C.T.C | Cálculo | % | IAC | 0 | 0 |
| H na C.T.C | Cálculo | % | IAC | 5,1 | 0 |

Outro fator é que estes valores se comprovaram ao analisar as amostras com o método comparativo, onde foi utilizado papel indicador universal de pH. Esse pH básico influenciará diretamente a produção dos sais de sulfato (SO₄²⁻), visto que tendem a diminuição de sua solubilidade.

3.4 - Ensaio de coluna

O ensaio de coluna foi executado utilizando um permeâmetro de parede flexível, Figura 8, seguindo a norma D5084-10 – *Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter*. Toda à água foi coletada para análise dos percentuais de concentração de sulfeto e sulfato das amostras.

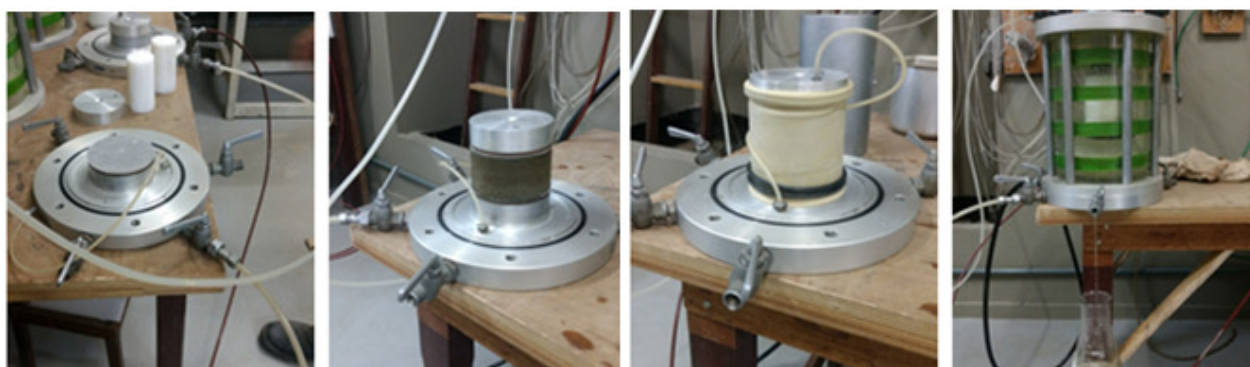


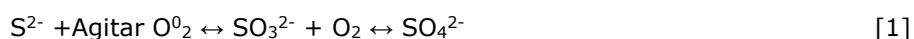
Figura 8 – Ensaio de Coluna

A concentração de sulfato (SO₄²⁻) foi determinada pelo método gravimétrico com cloreto de bário, e a concentração de sulfeto (S²⁻) foi determinada pelo Método padrão para o exame de água e águas residuais. As concentrações das amostras foram definidas em mg/L (Quadro 4).

Quadro 4 – Concentrações de Sulfeto/Sulfato – Material do Ensaio de Coluna

| Amostra | Material | S ²⁻ (mg/L) | SO ₄ ²⁻ (mg/L) |
|-----------|--|------------------------|--------------------------------------|
| Amostra 1 | Resíduo | 12,32 | 9180 |
| Amostra 2 | Escória de Dessulfuração | 68,84 | 28 |
| Amostra 3 | Resíduo + 20% Escória de Dessulfuração | 129,64 | 1918 |
| Amostra 4 | Resíduo + 30% Escória de Dessulfuração | 159,82 | 2560 |
| Amostra 5 | Resíduo + 40% Escória de Dessulfuração | 159,82 | 3143 |

Estes resultados mostram que as amostras que contêm a mistura o resíduo/escória apresentaram um aumento na concentração de S²⁻ e uma redução na concentração de SO₄²⁻. Segundo Kotz *et al.* (2015), uma forma simples de representar a equação química geral de transformação constante de equilíbrio destes compostos na relação da seguinte reação (Equação 1) é:



Sendo que a reação que ocorre da esquerda para a direita, ou seja, para a formação de sulfato é dada pela reação de oxidação, e a reação que ocorre da direita para a esquerda, é uma reação de redução e confere a formação final de sulfeto.

Nota-se que para as amostras com pH elevado é possível identificar maior concentração dos íons de S²⁻. Isso se justifica pois, para sais de SO₄²⁻ essa verificação é mais difícil de acontecer, já que em pH elevado esses sais são menos solúveis. A amostra pura de escória apresenta um pH alto, o que dificulta a precipitação dos sais de sulfato, e dessa forma tem-se uma concentração maior de sulfeto. Na amostra do resíduo, o efeito é o contrário, o que se justifica pelo seu pH mais neutro.

Verificando o pH das amostras, com auxílio de um papel indicador universal de pH, foi possível verificar que as três misturas com a escória de dessulfuração tiveram seu pH próximo a 12. Isso justifica o fato das concentrações de sulfeto aumentarem e as de sulfato diminuírem.

Em paralelo ao ensaio de coluna foram preparadas as soluções do ensaio de Solubilização, conforme ABNT (2004b). O intuito da preparação das amostras era verificar o comportamento do resíduo e da escória com relação as concentrações de sulfeto e sulfato, para classificar o material conforme ABNT (2004a), diante de tais concentrações. Com base nos procedimentos propostos na norma, foram encontrados os seguintes percentuais de concentração dos compostos, Quadro 5.

Quadro 5 - Solubilizado - Concentração de Sulfeto e Sulfato

| Amostra | Material | S ²⁻ (mg/L) | SO ₄ ²⁻ (mg/L) |
|-----------------|--------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| Solubilizado I | Resíduo | 0,00 | 3023,62 |
| Solubilizado II | Escória de Dessulfuração | 47,86 | 25,78 |

É possível notar uma concentração elevada nos percentuais de sulfeto na amostra de escória de dessulfuração e percentuais mais consideráveis de sulfato na amostra do resíduo. Esses valores confrontados com os percentuais encontrados no fluido proveniente do Ensaio de Coluna mostram uma redução nas concentrações de sulfeto e de sulfato, para as amostras puras de resíduo e da escória, o que provavelmente proporcionará uma redução nas concentrações das misturas.

É importante ressaltar que tanto as amostras coletadas durante o ensaio de coluna, como as amostras preparadas para análise do solubilizado, foram identificadas apenas as concentrações de sulfato dissolvido. O fato das amostras terem sido filtradas previamente faz com que possíveis elementos precipitados tenham ficado retidos e conseqüentemente não foram identificados.

A ABNT (2004a), classifica os resíduos em duas classes, a Classe I – Resíduos Perigosos e a Classe II – Resíduos Não perigosos, sendo que está se subdivide em Resíduos Classe II A – Não inertes e em Resíduos Classe II B – Inertes. Para classificar o resíduo estudado nesta pesquisa, foram seguidas as etapas propostas pela ABNT (2004a). Dessa forma, tem-se que o resíduo de mineração apresenta em sua amostra solubilizada concentrações maiores que 250 mg/L Sulfato (expresso em SO₄), o que permite classificá-lo como um Resíduo Não Perigoso e Não Inerte Classe II A, para esse elemento.

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após análise dos resultados entre a incorporação físico-químico do Rejeito de mineração com a escória de dessulfuração foi possível concluir que o coproduto siderúrgico proporcionou excelente melhoria das características mecânicas do resíduo de mineração. De forma que, para chegar a tais conclusões, a pesquisa caracterizou e analisou as propriedades físico-químico do resíduo puro e posteriormente, sua incorporação com a escória de dessulfuração, a fim de se obter um produto final viável tecnicamente e ambientalmente para aplicação em estradas vicinais.

Analisando geotecnicamente o resíduo da mineração de ouro constatou que o material era heterogêneo granulometricamente, sendo classificado pelo SUCS como uma areia argilosa com pedregulho e pelo sistema HRB como um solo A-6 (2). O material apresentou um ISC de 1,68%, com expansão de 3,27% e uma resistência à compressão axial equivalente a 0,205 MPa, ou seja, um material com péssimas propriedades mecânicas para a pavimentação.

Quimicamente as concentrações sulfeto/sulfato do solubilizado e ensaio de coluna do resíduo estavam dentro dos limites estipulados pela ABNT (2004a), caracterizando o material, assim, como não perigoso, o que viabiliza seu reaproveitamento.

As propriedades mecânicas da mistura entre os resíduos (resíduo da mineração de Ouro e a escória de dessulfuração), apresentaram excelentes resultados para como componentes de pavimentação para aplicação em uma estrada vicinal, principalmente para as amostras com incorporação de 40% de escória, a qual apresentou o Índice Suporte Califórnia médio da amostra com 40% de escória apresentou um ganho inicial com 96 horas de 14,50 vezes o valor do ISC do resíduo puro. E devido as propriedades cimentícias da escória essa capacidade de suporte aumentou expressivamente ao final de 28 dias, proporcionando um ISC de 63,93%.

A expansão do material incorporado a escória também apresentou expressiva redução. O resíduo de mineração ao final de 28 dias, apresentou uma expansão equivalente à 4,98%. Ao ser incorporado à escória passou a apresentar uma expansão de apenas 2,24%.

A resistência à compressão axial também apresentou ganhos com a mistura dos materiais. Os corpos de prova com 30% e 40% de escória adicionada, que mesmo apresentando uma dilatação durante o processo

de cura, tiveram um ganho expressivo de resistência ao final dos 28 dias, onde, em média, a resistência aumentou pelo menos 4 vezes.

Com base em todos esses resultados, pode-se concluir que a incorporação físico-química do resíduo proveniente da mineração de ouro com a escória de dessulfuração foi satisfatória, tanto no aspecto mecânico, como no químico. De forma a proporcionar um produto viável para aplicação em obras de engenharia, como estradas de pequeno porte e a estradas vicinais. Proporcionando um reaproveitamento de resíduos, que antes eram apenas descartados no ambiente.

REFERÊNCIAS

- ABM, (2008) – Gestão de Coprodutos: Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico, (Nota Técnica). Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Brasília.
- ABNT, (2004a) – NBR 10004 – Resíduos sólidos – Classificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ABNT, (2004b) – NBR 10006 – Procedimento para Obtenção de Extrato Solubilizado de Resíduos Sólidos. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ABNT, (2012a) – NBR 12023 – Solo-cimento – Ensaio de Compactação. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ABNT, (2012b) – NBR 12025: Solo-Cimento, Ensaio de Compressão Simples de Corpos de Prova Cilíndricos – Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ABNT, (2016) – NBR 6457: Amostras de Solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ASTM, (2010) – Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – D5084.
- Azêvedo, A. L. C. (2010) – Estabilização de Solos com Adição de Cal. Um Estudo a Respeito da Reversibilidade das Reações que Acontecem no Solo Após a Adição de Cal, Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica da Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais. http://www.nugeo.ufop.br/uploads/nugeo_2014/teses/arquivos/andre-cairo.pdf, acessado em 12/10/2015.
- CETEM, (2012) – Mina de ouro em Paracatu (MG) gera controvérsia por fazer mineração de ouro associada ao arsênio, Revista Brasil Mineral, 10ª Edição. <http://www.cetem.gov.br/rio20/galerias/2010/Paracatu.pdf>, acessado em 13/01/2016.
- DNIT, (2014) – 049: – ME: Solos – Determinação do índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro. <http://www.dnit.gov.br/download/convenios-chamamento-publico/revisao-norma-dnit-049-2014-me-v.31out.pdf>, acessado em 10/12/2015.
- Gonçalves, R. M. (2016) – INCORPORAÇÃO de Coproduto de Aciaria Kr e Polímero PDC em Solos para Base de Pavimentos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. Pen drive.
- Henderson, R. D. (2006) – Paracatu Mine Technical Report, Kinross, Paracatu, Minas Gerais, Brasil. <http://fb.kinross.com/pdf/operations/Technical-Report-Paracatu.pdf>, acessado em 10/07/2017.
- IBRAM, Instituto Brasileiro de Mineração. (2016) – Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração/Instituto Brasileiro de Mineração, Instituto Brasileiro de Mineração. 1.ed. – Brasília. <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006222.pdf>, acessado em 10/07/2017.
- Kotz, J.C., Treichel, P. M., Townsend, J. R. e Treichel, D. A. (2015) – Química Geral e Reações Químicas, Volume 1, Tradução Noveritis do Brasil. Tradução da 9ª edição norte-americana, revisores técnicos Eduardo Codaro e Heloisa Acciari. São Paulo: Cengage Learning.