Sumário Executivo

MINA DO BARROSO – AVALIAÇÃO DE GEOQUÍMICA DE REJEITADOS

Knight Peisold Consulting, PE20-00124

Ed Tulpin, 4 de fevereiro de 2020

Balanço Ácido-Base

Os resultados da análise estão resumidos na Tabela e na Tabela 1 e indicam que o enxofre não foi identificado acima do limite de deteção analítica de 0,01%. Como tal, a amostra era essencialmente desprovida de enxofre e possui uma acidez potencial máxima insignificante (MPA). A capacidade de neutralização ácida (ANC) da amostra foi determinada juntamente com estimativas do teor de carbonato. Os dois resultados podem ser usados como uma verificação um do outro e para identificar a contribuição do ANC de carbonatos e outros minerais não carbonatados. A amostra registou um baixo valor de ANC de 6 kg H_2SO_4/t, comparado com o ANC estimado como disponível a partir de minerais carbonatados de 0,4 kg H_2SO_4/t. Como tal, a grande maioria do ANC é derivada de minerais não carbonatados, que podem ser menos reativos e disponíveis apenas para neutralizar o ácido em condições de baixo pH.

Com base nos resultados do MPA e do ANC, a amostra registou um potencial efetivo negativo de geração de ácido (NAPP) de -6 kg H_2SO_4/t. Não foi possível determinar a proporção ANC/MPA devido a um valor de MPA igual a zero.

O ensaio de geração de ácido efetiva auxilia na interpretação das classificações de potencial de geração de ácido. Também identifica se os sulfureto e minerais neutralizantes contidos na amostra estão prontamente disponíveis para produzir ou consumir ácido. Os resultados do ensaio de geração de ácido efetiva são apresentados na Tabela 1 e indicam que, sob condições oxidantes extremas, os rejeitados não produziram nenhum ácido mensurável, com o pH final da solução de geração de ácido efetiva registado em pH 7,4.

Tabela 1: Resultados Ácido-Base

Amostra	**Espécies de Enxofre**			**ANC**	**Espécies de Carbono**				**Ph do Rejeitado**
	Enxofre %	Sulfato %	Sulfureto %	kg H_2SO_4/t	Carbono %	Carbono Insolúvel em Ácido %	Equivalente à Calcite % $CaCO_3$	$CaCO_3$-ANC	kg H_2SO_4/t
Amostras de Rejeitados da Savannah	0.01	0.01	0.00	3	0.03	0.02	0.04	0.4	8.1

Tabela 1: Cálculos do Balanço Ácido-Base e Resultados dos Ensaios de Geração de Ácido Efetiva (NAG)

Amostra	**Cálculos**			**Resultados NAG**			**Potencial de Geração de Ácido**
	MPA kg H_2SO_4/t	Relação ANC/MPA	NAPP kg H_2SO_4/t	NAG (7.0) kg H_2SO_4/t	NAG (4.5) kg H_2SO_4/t	NAG pH	
Amostras de Rejeitados da Savannah	0	-	-6	0	0	7.4	Não Geradores de Ácido (NAF)

O potencial de geração de ácido da amostra é calculado com base nos resultados do balanço ácido-base e no ensaio de geração de ácido efetiva (NAG teste). Os resultados do balanço ácido-base para a amostra indicam valores negativos de NAPP e valores de pH de geração de ácido efetiva *circum*-neutros. Portanto, a amostra é classificada como **Não Geradora de Ácido (NAF), pois não existe um risco percetível desta amostra de rejeitado gerar ácido**.

Com base nesses resultados, a amostra é considerada como Não Geradora de Ácido, como mostra a Figura .

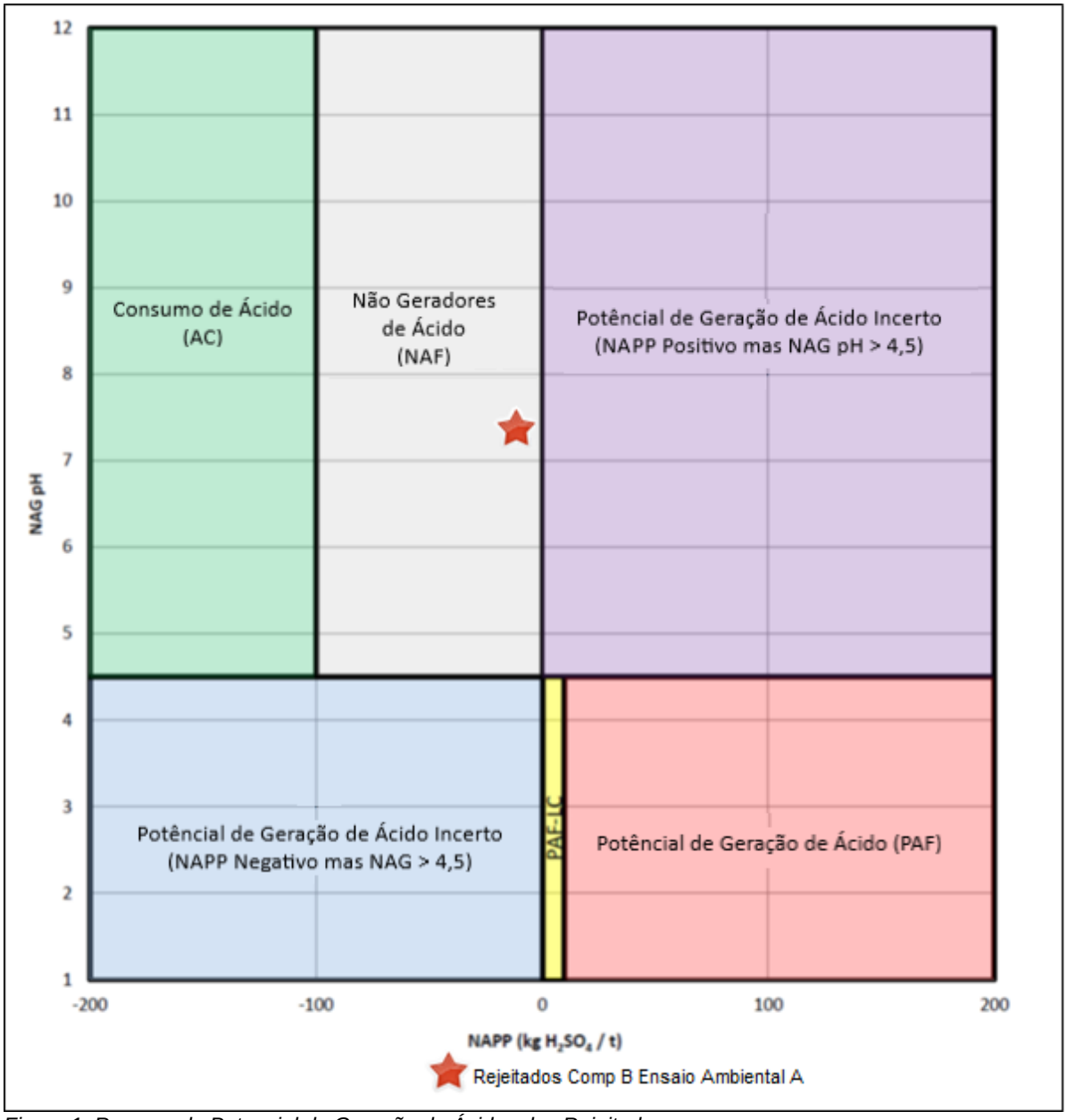

Figura 1: Resumo do Potencial de Geração de Ácidos dos Rejeitados

Resultados Multi-Elementar

Enriquecimentos de elementos

A análise multi-elementar “whole rock” dos sólidos de rejeitados foi realizada para avaliar o enriquecimento de elementos na fração sólida dos rejeitados. Os resultados da análise multi-elementar foram comparados com a abundância média da crosta (ACA) para calcular os

índices de abundância geoquímica (GAI). O GAI quantifica um resultado do teste para um elemento específico em termos de ACA.

Os resultados de ensaios, a ACA e o GAI são fornecidos na Tabela e indicam que a amostra teve um número moderado de enriquecimentos, com o nível de enriquecimento variando de leve a alto. Os elementos altamente enriquecidos incluem prata, bismuto, molibdénio e selénio, com antimónio e estanho que são significativamente enriquecidos e arsénio, berílio e cobre classificados como levemente enriquecidos. Os metais e metaloides registados ocorrem naturalmente na mineralização e permanecem nos rejeitados após o processamento. Tais concentrações podem ser consideradas típicas de depósitos mineralizados.

Tabela 3: Resultados de Ensaios, Abundância Média da Crosta e Índices de Abundância Geoquímica

Elemento	Unidade	Resultado de Ensaios	Abundância média da crosta	Índices de abundância geoquímica
Ag	ppm	33	0.07	6
Al	ppm	72572	82000	0
As	ppm	15.5	1.5	2
B	ppm	50	10	1
Ba	ppm	7	500	0
Be	ppm	29	2.6	2
Bi	ppm	3	0.048	5
C	ppm	250	480	0
Ca	ppm	1248	41000	0
Cd	ppm	0.3	0.11	0
Cl	ppm	200	130	0
Co	ppm	7.8	20	0
Cr	ppm	249	100	0
Cu	ppm	339	50	2
F	ppm	455	950	0
Fe	ppm	5950	41000	0
Hg	ppm	0.01	0.05	0
K	ppm	24745	21000	0
Mg	ppm	174	23000	0
Mn	ppm	874	950	0
Mo	ppm	88.8	1.5	5
Na	ppm	32197	23000	0
Ni	ppm	407	80	1
P	ppm	1595	1000	0
Pb	ppm	18.5	14	0
S	ppm	100	260	0
Sb	ppm	5.6	0.2	4
Se	ppm	3.7	0.05	5
Sn	ppm	42	2.2	3
Sr	ppm	28	370	0
Th	ppm	0.1	12	0
U	ppm	3.1	2.4	0
V	ppm	4	160	0
Zn	ppm	91	75	0

Legenda:

Não enriquecido	0-1
Enriquecido ligeiramente	2
Enriquecido significativamente	3-4
Altamente enriquecido	5-6

Triagem Preliminar da Qualidade do Solo

Os resultados da análise de vários elementos também foram comparados com um conjunto de diretrizes de triagem da qualidade do solo para os valores de intervenção em saúde humana, ecologia e contaminação do solo. A determinação desses valores de triagem da qualidade do solo deve servir apenas para uma avaliação e não está implícito que pela obtenção desses valores o projeto será requerido atingir esses níveis de referência ou que esses níveis de referência devem ser usados como enquadramento regulamentar.

Os resultados indicam que a amostra atendeu aos critérios de saúde humana (espaço recreativo/aberto), mas excedeu os valores ecológicos de antimónio, cromo, cobre, níquel, selénio, prata e zinco. Além disso, a amostra excedeu os valores de intervenção do solo para cobre, níquel e prata. Como tal, o desenho conceptual de gestão dos rejeitados inclui controlos adequados para mitigar potenciais riscos, conforme discutido abaixo. O sumário dos resultados e a comparação com os critérios de avaliação são apresentados na Tabela .

Tabela 4: Resultados dos Ensaios e Diretrizes de Triagem da Qualidade do Solo

Elemento	Resultados de Ensaio (ppm)	Níveis de Investigação Baseados na Saúde Humana[1] (ppm)	Níveis Ecológicos de Triagem do Solo [2,3] (ppm)	Valores de intervenção de Remediação do Solo[4] (ppm)
Antimónio	5.6	N/G	**0.27**	15
Arsénio	15.5	300	46	55
Bário	7	N/G	2000	625
Berílio	29	90	21	30
Boro	50	20000	N/G	N/G
Cádmio	0.30	90	0.4	12
Crómio	249	N/G	**34**	380
Cobalto	7.8	300	230	240
Cobre	339	17000	**49**	**190**
Chumbo	18.5	600	56	530
Manganês	874	19000	4000	N/G
Mercúrio	0.01	80	N/G	10
Molibdénio	89	N/G	N/G	200
Níquel	407	1200	**130**	**210**
Fósforo	1595	N/G	2000	N/G
Selénio	3.7	700	**0.63**	100
Prata	33	N/G	**14**	**15**
Enxofre	100	N/G	600	N/G
Sulfato	100	N/G	2000	N/G
Estanho	42	N/G	N/G	900
Vanádio	4.0	N/G	280	250
Zinco	91	30000	**79**	720

Notas:
N/G – Sem diretrizes
Valores em vermelho indicam onde uma diretriz foi excedida.
1 National Environment Protection (Assessment of Site Contamination) Amendment Measure 2013 (No.1) Health Investigation Levels for Soil Contaminants, Generic Land Use HIL C – Recreational.
2 United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA) Ecological Soil Screening Levels (Eco-SSLs). http://epa.gov/ecotox/ecossl (mammalian wildlife).
3 Os valores ecológicos das diretrizes para fósforo, enxofre e sulfato são baseados no National Environment Protection (Assessment of Site Contamination) Measure (NEPC, 1999). Esses níveis anteriores de investigação ecológica australiana para áreas urbanas foram incluídos para fins de referência na ausência de outros critérios de avaliação ecológica mais aplicáveis.
4 Netherlands Ministry of Housing. Spatial Planning and the Environment (VROM) 2000. Circular on Target Values and Intervention Values for Soil Remediation, Reference DBO/1999226863. Valores da intervenção de remediação do solo. Na ausência de valores de intervenção para berílio, selénio, prata, estanho e vanádio, "níveis indicativos de contaminação grave do solo" foram aplicados.

Análise do Extrato de Água Purificada

Ensaios de extratos foram realizados para fornecer uma indicação de metais e metaloides prontamente solúveis nos sólidos de rejeitados. Os resultados dos ensaios de extração foram comparados com uma gama de valores de referência da qualidade da água para permitir uma avaliação inicial da química da água. Esses valores de referência são descritos abaixo. Não está implícito que pela obtenção de valores de referência da qualidade da água, o projeto precisará de atender a esses níveis de referência ou que esses níveis de referência devem ser usados como enquadramento regulamentar, mas são padrões internacionais típicos.

Diretrizes de Emissão e Águas Superficiais

Os resultados dos ensaios de extração foram comparados às diretrizes da IFC para efluentes de exploração, valores-limite de emissão portugueses para descarga de águas residuais e diretrizes europeias para águas superficiais. Uma série de diretrizes foi adotada para permitir a avaliação de uma ampla gama de parâmetros.

Os resultados da comparação estão resumidos na Tabela e indicam que o extrato é de qualidade razoável, atendendo às diretrizes de libertação da IFC e aos padrões Portugueses de emissão. No entanto, o laboratório só conseguiu atingir um limite de deteção de mercúrio de 0,0001mg/l (0,1µg/l), em comparação com a diretriz de águas superficiais da UE de 0,00007mg/l (0,07µg/l). Embora o mercúrio não tenha sido detetado acima de 0,0001mg/l, não é possível determinar se está presente acima do limiar de UE de 0,00007mg/l. Todos os outros metais e metaloides foram confirmados como estando abaixo dos limites para águas superficiais da UE.

É importante observar que o ensaio está em conformidade com TODOS os padrões de emissão considerados neste estudo (onde os limites de deteção de laboratório são suficientemente baixos para permitir a comparação), conforme mostrado na Tabela .

Tabela 5: Comparação de Extratos com Diretrizes de Emissões Para Águas Superficiais

Parâmetro	IFC Valores de Emissões Para Indústria Mineira (mg/l)	Emissões Portuguesas (mg/l)	Água Superficial UE (mg/l)	Resultados de Ensaios (mg/l)
pH	6 a 9	6 a 9	N/G	8.2
TDS	N/G	N/G	N/G	30
EC	N/G	N/G	N/G	97
Alumínio	N/G	10	N/G	0.24
Antimónio	N/G	N/G	N/G	0.012
Arsénio	0.1	1	N/G	0.05
Bário	N/G	N/G	N/G	0.002
Boro	N/G	N/G	N/G	0.04
Cádmio	0.05	0.2	0.00045 – 0.0015[2]	0.00002
Cálcio	N/G	N/G	N/G	2.1
Cloreto	N/G	N/G	N/G	12
Crómio	N/G	2	N/G	0.01
Cobalto	N/G	N/G	N/G	0.0001
Cobre	0.3	1	N/G	0.03
Fluoreto	N/G	N/G	N/G	0.60
Ferro	2	2	N/G	0.07
Chumbo	0.2	1	0.0072	0.0001
Magnésio	N/G	N/G	N/G	1.0
Manganês	N/G	2	N/G	0.03
Mercúrio	0.002	0.05	0.00007[3]	0.0001
Molibdénio	N/G	N/G	N/G	0.006
Níquel	0.5	2	0.02	0.01
Fósforo	N/G	10	N/G	1.5
Selénio	N/G	N/G	N/G	0.001
Prata	N/G	N/G	N/G	0.0004
Sódio	N/G	N/G	N/G	13
Sulfato	N/G	2000	N/G	7
Estanho	N/G	N/G	N/G	0.001
Urânio	N/G	N/G	N/G	0.0009
Vanádio	N/G	N/G	N/G	0.01
Zinco	N/G	N/G	N/G	0.01

Notas:
N/G – Sem diretrizes
2 Varia de acordo com a dureza da água.
3 O mercúrio não foi detetado, mas como o limite de deteção excede a diretriz de águas superficiais, não é possível determinar se o metal está presente em níveis superiores ou inferiores ao limiar de águas superficiais.

Normas Europeias para Água Potável

A amostra também foi comparada às diretrizes da UE para a água potável, complementada pelas diretrizes da OMS para bário e urânio para permitir uma avaliação mais completa. Verificou-se que a amostra excedeu as diretrizes da OMS para antimónio e arsénio (parâmetros químicos) por fatores de 2 e 5 respetivamente, juntamente com uma ligeira excedência de alumínio (parâmetro indicador).

A comparação entre os resultados das análises e as diretrizes de água potável são mostrados na Tabela , com as implicações para a gestão de rejeitados fornecidas na secção abaixo.

Tabela 6: Comparação entre os Resultados das Análises e as Diretrizes da Água Potável

Parâmetro	Diretrizes da Água Potável (mg/l)	Resultados das Análises (mg/l)
pH	6.5-9.5	8.2
TDS	N/G	30
EC	2500	97
Alumínio	0.2[1]	**0.24**
Antimónio	0.005	**0.012**
Arsénio	0.01	**0.05**
Bário	0.7[2]	0.002
Boro	1	0.04
Cádmio	0.005	0.00002
Cálcio	N/G	2.1
Cloreto	250	12
Crómio	0.05	0.01
Cobalto	N/G	0.0001
Cobre	2	0.03
Fluoreto	1.5	0.60
Ferro	0.2	0.07
Chumbo	0.01	0.001
Magnésio	N/G	1.0
Manganês	0.05	0.03
Mercúrio	0.001	0.0001
Molibdénio	N/G	0.006
Níquel	0.02	0.01
Fósforo	N/G	1.5
Selénio	0.01	0.001
Prata	N/G	0.0004
Sódio	200	13
Sulfato	250	7
Estanho	N/G	0.001
Urânio	0.03[2]	0.0009
Vanádio	N/G	0.01
Zinco	N/G	0.01

Notas:
N/G – Sem diretrizes
Valores em vermelho indicam que as diretrizes europeias para água potável foram excedidas.
1 O limiar para o alumínio é um parâmetro indicador e não baseado na saúde.
2 Valor retirado das diretrizes OSM na ausência de limiares europeus.

Resumo dos Resultados e Implicações para a Gestão dos Rejeitados

Os resultados dos testes das amostras de rejeitados, do estudo de definição de âmbito de 2018, são consistentes com os resultados de 2019. Os resultados demonstram que os rejeitados são considerados não geradores de ácido (NAF) com base no conteúdo insignificante de enxofre, valores NAPP zero a negativos e resultados de pH NAG *circum*-neutros. Com base nestes resultados, considera-se que não há risco de que ambas as amostras de rejeitados gerem ácido.

A análise multi-elementar dos sólidos não foi realizada na amostra de 2018, mas a amostra de 2019 teve um número moderado de enriquecimentos com prata, bismuto, molibdénio e selénio altamente enriquecidos, com antimónio e estanho significativamente enriquecidos e arsénio, berílio e cobre classificados como levemente enriquecidos. A comparação dos resultados da análise de multi-elementar com as diretrizes da qualidade do solo indica que a amostra atendeu aos critérios de saúde humana (espaço recreativo/aberto), mas excedeu os critérios ecológicos para antimónio, cromo, cobre, níquel, selénio, prata e zinco.

Adicionalmente, a amostra excedeu os valores de intervenção do solo para cobre, níquel e prata. De notar que estes resultados são típicos no contexto regional. Dado que os testes de lixiviação dos rejeitados mostraram que estes elementos normalmente não são móveis, o desenho conceptual das escombreiras e as medidas de controlo de sedimentos detalhados acima são suficientes para gerir adequadamente o risco. Além disso, as concentrações de vários elementos registadas nos rejeitados ocorrem naturalmente na mineralização e permanecem nos rejeitados após o processamento. As concentrações podem ser consideradas típicas de depósitos mineralizados.

Verificou-se que a amostra de água destilada é de boa qualidade quando comparada com as diretrizes da IFC para efluentes de exploração mineira, com os padrões portugueses de emissão e com as diretrizes da UE para águas superficiais.