

# TRATAMENTO ECOLÓGICO DE CONTAMINANTES LIXIVIADOS, COM ÊNFASE EM METAIS PESADOS, PRESENTES EM LIXÕES, ELABORADO A PARTIR DO REAPROVEITAMENTO DOS REJEITOS DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS – PROJETO ATERRIO

Autor<sup>1</sup>: Antonio Gabriel Pereira Araujo

Autor<sup>2</sup>: Antonio Matheus Monteiro Lopes

Autor<sup>3</sup>: Marianne Martins Farias Vieira de Lima

Professor Orientador: Francisco Renato Moreira da Silva

EEEP ANTONIO RODRIGUES DE OLIVEIRA - 14<sup>a</sup> CREDE

criatividade e inovação  
**FEBRACE**

## INTRODUÇÃO/PROBLEMÁTICA

O consumismo desenfreado resulta em resíduos descartados em lixões, de 40% dos resíduos coletados no país, cerca de 29,7 milhões de toneladas seguem para destinos inadequados, de acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos (2022)<sup>[1]</sup>. Esses lixões liberam poluentes no ar, solo e água, causando danos irreversíveis aos ecossistemas. Além disso, a indústria de rochas ornamentais produz granitos, mas gera rejeitos descartados na natureza, causando impactos ambientais.

## OBJETIVO

Desenvolver uma tecnologia, utilizando as rochas descartadas, voltada para o tratamento ecológico, barato e viável dos contaminantes, com ênfase nos metais pesados, encontrados em áreas de descarte irregular, como os lixões.

## METODOLOGIA

### ANÁLISES FÍSICAS, MECÂNICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DAS AMOSTRAS

Amostras	Resistência mecânica	Tamanho	pH	PRESEÇA DE METAIS		Quantitativo (mg/L do cátion) Ca <sup>2+</sup> Mg <sup>2+</sup> **
				Adsorção qualitativa	Qualitativo *	
Ocre Itabira	135 MPa	Pequeno	7.0	Presente	Ausente	0.0
		Médio	7.0	Presente	Ausente	0.0
		Grande	7.0	Presente	Ausente	0.0
Itaúnas	152 MPa	Pequeno	6.9	Presente	Ausente	0.0
		Médio	6.9	Presente	Ausente	0.0
		Grande	6.9	Presente	Ausente	0.0
São Gabriel	167 MPa	Pequeno	6.6	Presente	Presente	196
		Médio	6.6	Presente	Presente	201.5
		Grande	6.6	Presente	Presente	202
Verde Pérola	185 MPa	Pequeno	6.6	Ausente	Ausente	0.0
		Médio	6.6	Ausente	Ausente	0.0
		Grande	6.4	Ausente	Ausente	0.0

(\*) Determinado por método complexométrico, utilizando EDTA em pH igual a 10 e posteriormente igual a 12.

Tabela 01: Análise das amostras de rochas ornamentais.

Fonte: Autores (2024)



Imagem 01: Adsorção qualitativa azul de metileno e o Ocre  
Fonte: Autores (2024)



Imagem 02: Adsorção qualitativa azul de metileno e o Itaúnas  
Fonte: Autores (2024)

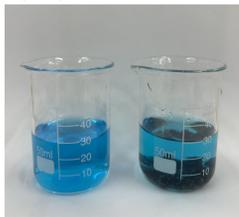


Imagem 03: Adsorção qualitativa azul de metileno com S. Gabriel  
Fonte: Autores (2024)

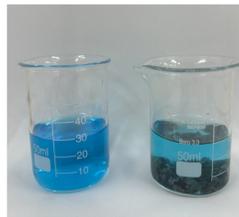


Imagem 04: Adsorção qualitativa azul de metileno e o V. Pérola  
Fonte: Autores (2024)



Imagem 05: Adsorção qualitativa do corante azul de metileno  
Fonte: Autores (2024)



Imagem 06: Adsorção qualitativa do corante azul de metileno  
Fonte: Autores (2024)



Imagem 07: Adsorção qualitativa do corante azul de metileno  
Fonte: Autores (2024)



Imagem 08: Adsorção qualitativa do corante azul de metileno  
Fonte: Autores (2024)

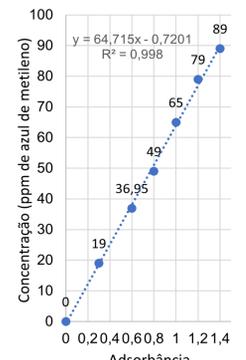


Gráfico 01: Adsorção quantitativa do corante azul de metileno  
Fonte: Autores (2024)

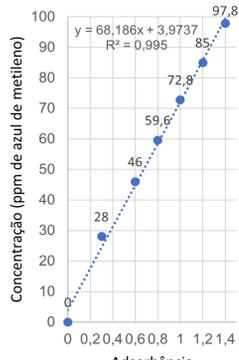


Gráfico 02: Adsorção quantitativa do corante azul de metileno  
Fonte: Autores (2024)

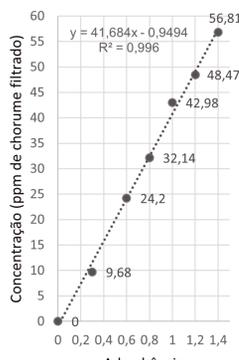


Gráfico 03: Adsorção quantitativa do corante azul de metileno  
Fonte: Autores (2024)

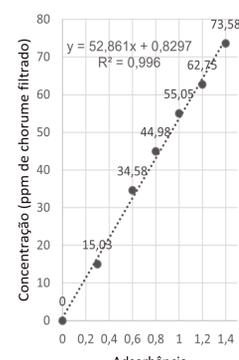


Gráfico 04: Adsorção quantitativa do corante azul de metileno  
Fonte: Autores (2024)

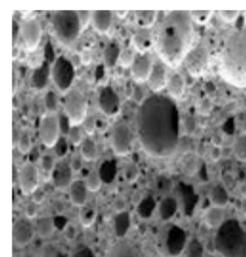


Imagem 09: Micrografia realizada em M.E.V. do Ocre sem ataque ácido.  
Fonte: Autores (2024)

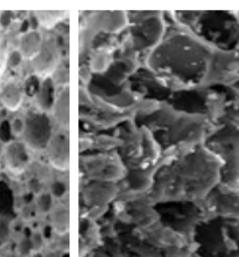


Imagem 10: Micrografia realizada em M.E.V. do Ocre após tratamento com ácido.  
Fonte: Autores (2024)

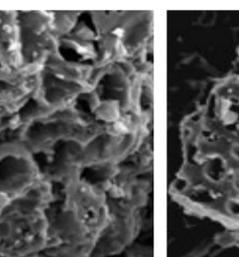


Imagem 11: Micrografia realizada em M.E.V. do carvão ativado da *Mimosa hostilis*.  
Fonte: Autores (2024)

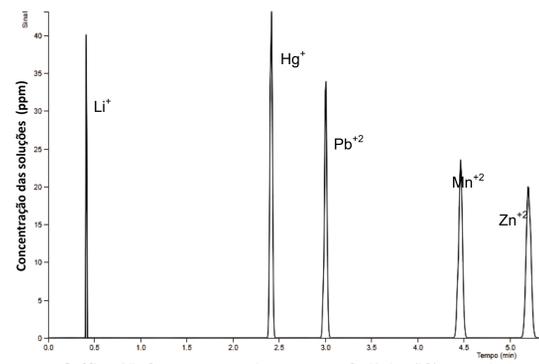


Gráfico 05: Cromatograma da cromatografia iônica (IC) antes da aplicação do granito ocre tratado  
Fonte: Autores (2024)

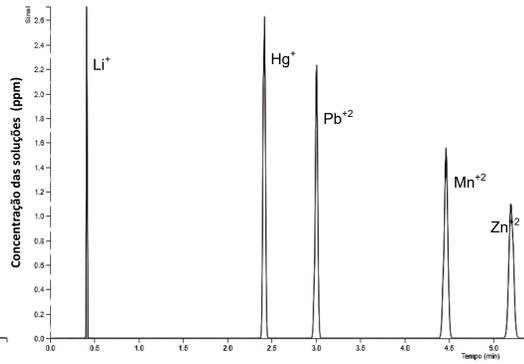


Gráfico 06: Cromatograma da cromatografia iônica (IC) após aplicação do granito ocre tratado  
Fonte: Autores (2024)

## ANÁLISES E DISCUSSÕES



Imagem 12: Tela (véu de noiva) usado na prototipagem  
Fonte: Autores (2024)



Imagem 13: Protótipo da tecnologia ATERRIO  
Fonte: Autores (2024)



Imagem 14: Ensaio de lixiviação com a tecnologia.  
Fonte: Autores (2024)



Imagem 15: Simulação das áreas contaminadas (lixões)  
Fonte: Autores (2024)

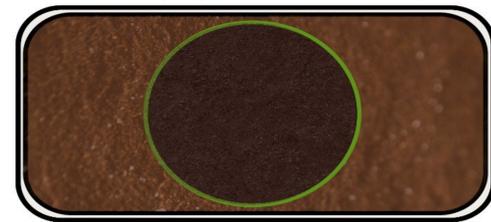


Figura 01: Simplificação esquemática dos testes de lixiviação se a utilização do granito Ocre Itabira  
Fonte: Autores (2024)

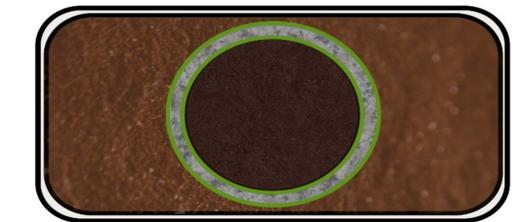


Figura 02: Simplificação esquemática dos testes de lixiviação com a utilização do granito Ocre Itabira  
Fonte: Autores (2024)

### ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS SOLOS CONTAMINADOS COM SOLUÇÕES COM METAIS PESADOS (METAIS PESADOS)

PARÂMETROS	TESTES COM E SEM A TECNOLOGIA									UNIDADE
	SOLOS		TESTE I CONTAMINADO METAL PESADO (MP)				VPN <sup>6</sup>			
	SV <sup>1</sup>	MP <sup>2</sup>	LIXIVIANTE		LIXIVIADO		VRQ <sup>7</sup>	VP <sup>8</sup>	VI <sup>9</sup>	
Chumbo	0,0	21.000	5,25	18,4	15,78	2,62	20 - 70	70 - 150	> 150	ppm de Pb <sup>2+</sup>
Lítio	0,0	694	173,5	607,25	520,5	86,75	50 - 100	100 - 200	> 200	ppm de Li <sup>+</sup>
Mercúrio	0,0	2.000	502	1,75	1.408	0,25	0,1 - 0,5	0,5 - 1,0	> 2,0	ppm de Hg <sup>+</sup>
Manganês	2,9	5,49	1,40	4,80	4,12	0,67	10 - 20	20 - 50	> 50	g kg <sup>-1</sup> de Mn <sup>2+</sup>
Magnésio	9,95	9,995	2,40	8,40	7,20	1,20	1 - 3	3,0 - 6,0	> 6,0	cmolc kg <sup>-1</sup> de Mg <sup>2+</sup>

(1) Solo virgem - SV (2) Contaminado com Metal Pesado - MP (3) Sem a tecnologia - ST (4) Com a tecnologia - CT (6) Valores Padrões de Normalidade - VPN<sup>[3][4]</sup> (7) Valor de Referência de Qualidade - VRQ<sup>[3][4]</sup> (8) Valor de Prevenção - VP<sup>[3][4]</sup> (9) Valor de Intervenção - VI<sup>[3][4]</sup>  
Tabela 02: Análises físico-químicas dos solos virgem e contaminados, e da ação da lixiviação com e sem a tecnologia desenvolvida.  
Fonte: Autores (2024)

### ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS SOLOS CONTAMINADOS COM SOLUÇÕES COM METAIS PESADOS E BATERIAS

PARÂMETROS	TESTES COM E SEM A TECNOLOGIA									UNIDADE
	SOLOS		TESTE I CONTAMINADO METAL PESADO (MP)				VPN <sup>6</sup>			
	SV <sup>1</sup>	MP <sup>2</sup>	BT <sup>3</sup>	ST <sup>4</sup>	CT <sup>5</sup>	ST <sup>4</sup>	CT <sup>5</sup>	VRQ <sup>7</sup>	VP <sup>8</sup>	
Cálcio	1,042	1,042	1,042	0,27	0,91	0,8	0,13	2 - 10	10 - 20	cmolc kg <sup>-1</sup> Ca <sup>2+</sup>
Carbono	0,216	0,216	0,216	0,054	0,19	0,17	0,03	2 - 5	5,1 - 10	18 g kg <sup>-1</sup> de C <sub>org</sub>
Fosfato	0,147	0,147	0,147	0,04	0,13	0,12	0,012	50 - 100	100 - 200	ppm de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
Nitrato	0,910	0,910	0,910	0,23	0,80	0,69	0,114	5 - 10	10 - 20	mg kg <sup>-1</sup> de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
pH	6,5	6,6	6,6	6,3	6,3	6,3	6,9	6,0 - 7,5	5,5 - 6,0	Unidade pH
Potássio	1,20	1,20	1,20	0,30	1,05	0,90	0,15	100 - 200	201 - 300	mg kg <sup>-1</sup> de K <sup>+</sup>
Umidade total	15,25	16,01	16,03	18,03	18,01	21,02	21,01	10 - 20%	20 - 30%	%

(1) Solo virgem - SV (2) Contaminado com Metal Pesado - MP (3) Sem a tecnologia - ST (4) Com a tecnologia - CT (6) Valores Padrões de Normalidade - VPN<sup>[3][4]</sup> (7) Valor de Referência de Qualidade - VRQ<sup>[3][4]</sup> (8) Valor de Prevenção - VP<sup>[3][4]</sup> (9) Valor de Intervenção - VI<sup>[3][4]</sup>  
Tabela 03: Análises de parâmetros dos solos virgem e contaminados, e da ação da lixiviação com e sem a tecnologia desenvolvida.  
Fonte: Autores (2024)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração deste trabalho permitiu concluir que todos os objetivos foram atingidos, resultando em soluções satisfatórias para o tratamento dos contaminantes estudados. Os testes realizados demonstraram a viabilidade da pesquisa como alternativa para a recuperação de áreas contaminadas por metais pesados, como os lixões, com uma efetiva retenção desses metais após o tratamento. Além disso, o trabalho contribui com sete dos dezesseis Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

## REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICOS

- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2022**. São Paulo: ABRELPE, 2022.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Diretrizes nacionais para a gestão da qualidade do solo. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2009.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Diretrizes nacionais para a gestão da qualidade do solo. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2009
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Diretrizes para análise de solo. São Paulo, 2023.
- HUL, Gabriela et al. **Insights into polystyrene nanoplastics adsorption mechanisms onto quartz sand used in drinking water treatment plants**. Science of the Total Environment, v. 908, p. 168076, 2024.
- SILVA, R. P. **Estudo da organofiliação da argila paligorskita**. 2022.

