

**MINÉRIOS DO
AMANHÃ:
A JORNADA RUMO À
SUSTENTABILIDADE**



FICHA CATALOGRÁFICA

O61m	<p>Opini, Melissa Maria Minérios do amanhã: a jornada rumo a sustentabilidade / Maria Melissa Opini, Denise Bevilaqua, Guilherme Salvador Peres Neto. – Araraquara : Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, 2025. PDF (26 p.) : il. color. Online</p> <p>1. Divulgação científica. 2. Didática. 3. Química ambiental. 4. Metais pesados. 5. Pedagogia crítica. I. Bevilaqua, Denise. II. Peres Neto, Guilherme Salvador. III. Título</p> <p>CDD 370</p>
------	--

Biblioteca do Instituto de Química, Unesp, câmpus de Araraquara
Bibliotecária: Ana Carolina Gonçalves Bet - CRB8/8315

unesp



Instituto de Química – UNESP
Araraquara

**Texto de Divulgação Científica
Instituto de Química - UNESP
Campus Araraquara, 2024**

ELABORAÇÃO

Melissa Maria Opini

ORIENTAÇÃO

Denise Bevilaqua

COORIENTAÇÃO

Guilherme Salvador Peres Neto

Sumário

Você conhece o wall-e?.....	5
E a realidade do nosso planeta?.....	6
Como mudar?.....	6
O que é Resísuo Eletroeletrônico?.....	8
Esse resíduo pode ser um problema?.....	9
Essas substâncias fazem mal?.....	9
Por que e como mudar?.....	11
Economia circular.....	13
Reciclagem de metais.....	14
Recuperação de metais.....	15
Como funciona?.....	17
Biolixiviação.....	19
Metabolismo quimiolitotrófico.....	20
Resumo.....	24
Conclusão.....	25
Referências.....	26



Você conhece o wall-e?

Disney · PIXAR

WALL·E

O filme Wall-E se passa no futuro, em um planeta Terra abandonado e coberto de lixo.

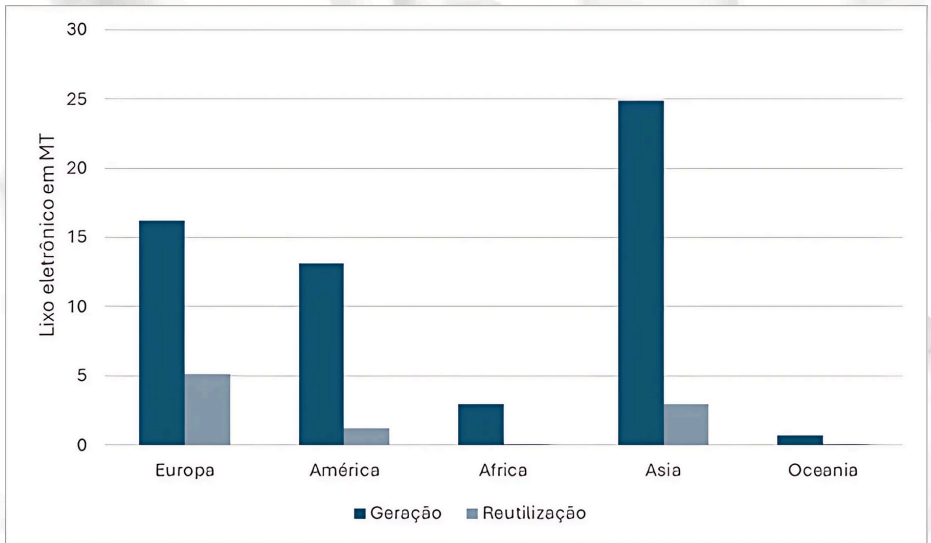
A humanidade deixou o planeta devido à poluição e ao esgotamento dos recursos naturais.

O filme aborda de forma crítica os impactos ambientais causados pela superprodução, o consumismo desenfreado e o abandono em relação aos resíduos.


E a realidade ?

(Walt Disney Pictures, 2008)

Nos dias atuais, a tecnologia avança a passos largos, trazendo inovações que facilitam nossas vidas. No entanto, esse progresso também gera um desafio significativo: o aumento da produção de lixo, principalmente o lixo eletrônico. Em 2019, o mundo produziu cerca de 53,6 milhões de toneladas desse tipo de resíduo, e a previsão é que esse número continue a crescer, especialmente em países desenvolvidos.



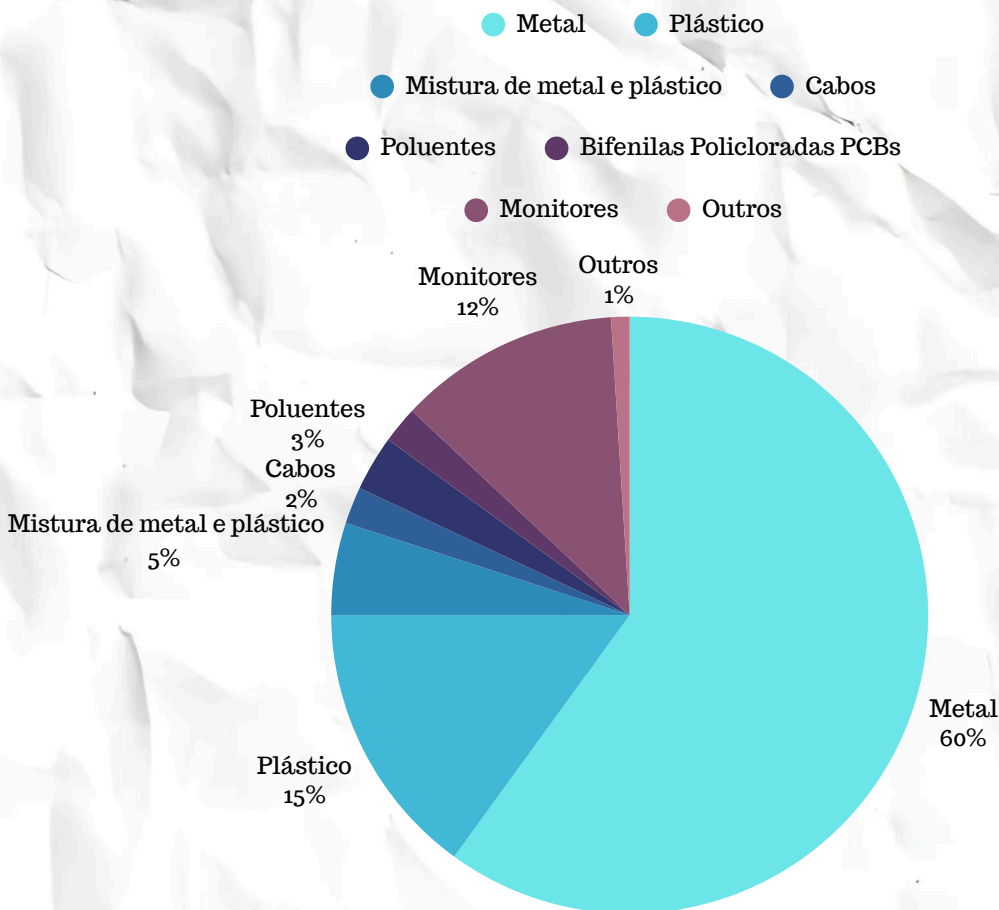
Como mudar?



Diante desse cenário alarmante, é crucial que a sociedade adote práticas de gestão sustentável para o lixo eletrônico. Isso inclui a implementação de sistemas de reciclagem adequados, a conscientização sobre a importância do descarte correto e a promoção de políticas que incentivem a economia circular.

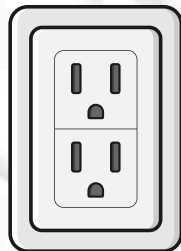
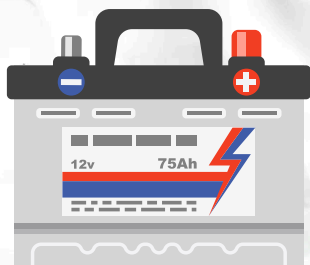
Mas, o que significa tudo isso?

O resíduo eletrônico é uma preocupação crescente devido à sua composição complexa, que pode incluir plásticos, metais pesados e alguns deles muitos perigosos, como o chumbo, mercúrio, entre outros. Quando descartados inadequadamente, esses materiais podem causar sérios danos ao meio ambiente e à saúde humana, liberando poluentes no solo, na água e no ar. Portanto, a gestão adequada e a reciclagem desses resíduos são essenciais para minimizar seus impactos negativos



Afinal, o que é resíduo eletrônico?

Também conhecido como resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE), referem-se a qualquer dispositivos elétricos ou eletrônicos não funcionais que possui pilha, bateria ou possa ser ligado na tomada.



IMPORTANTE



LIXO



RESÍDUO

Lixo é o que será descartado sem uso, resíduo será tratado e reaproveitado, virando algo novo!

Esse resíduo pode ser um problema?



O resíduo eletrônico, que inclui dispositivos como smartphones, computadores e eletrodomésticos, não é apenas um problema de descarte, quando mal gerenciado, ele representa sérios riscos ambientais.

Os resíduos eletrônicos contêm uma variedade de substâncias tóxicas que podem contaminar o solo e a água.

Essas substâncias fazem mal?

Efeitos na saúde humana

- **Metais pesados:** podem causar problemas neurológicos, danos aos rins e ao sistema imunológico, além de estarem associados a doenças crônicas.
- **Compostos químicos:** a exposição pode levar a distúrbios hormonais, problemas respiratórios e aumento do risco de câncer.

Impactos ambientais

- **Contaminação do solo e da água:** a dissolução de metais pesados pode poluir fontes de água e afetar ecossistemas locais.
- **Poluição do ar:** a incineração inadequada de resíduos eletrônicos libera gases tóxicos, contribuindo para a poluição atmosférica e problemas de saúde pública.

Onde elas são usadas?

Substância Química	Equipamentos Eletrônicos
Chumbo (Pb)	Soldas de placas de circuito, TVs, celulares, computadores, baterias e revestimento interno de recipientes para ácidos
Zinco (Zn)	Tubos de raios catódicos e revestimentos de proteção de metais
Mercúrio (Hg)	Computadores portáteis, monitores LCD, TVs de plasma, TVs CRT coloridas, telefones celulares, termostatos, sensores e display de cristal líquido
Níquel (Ni)	Baterias, Celulares, Tvs e monitores
Ouro (Au)	Circuito elétrico nos microprocessadores, peças susceptíveis a pequenas correntes e que necessitam de alta confiabilidade
Prata (Ag)	Fiação, switches e tintas usadas em placas de circuito impresso
Cobre (Cu)	Fiação, cabos, contatos elétricos e outros usos que exigem passagem de corrente elétrica
Estanho (Sn)	Soldas de placas de circuito e monitores de LCD
Gálio (Ga)	Semicondutores
Lítio (Li)	Baterias
Cádmio (Cd)	Tintas de impressora, toners, máquinas de fotocópias, celulares, placas de circuito impresso, baterias, tubos de raios catódicos, resistências de chip, estabilizador em PVC e revestimento anticorrosivo
Arsênio (As)	Computadores portáteis, monitores LCD, TVs de plasma, TVs CRT coloridas e telefones celulares

Por que mudar?

Podemos não apenas reduzir a quantidade de resíduos gerados, mas também transformar o lixo em um recurso reutilizável, promovendo um futuro mais sustentável e responsável. Essa transição não é apenas uma necessidade ambiental, mas também uma oportunidade econômica que pode beneficiar a sociedade como um todo.

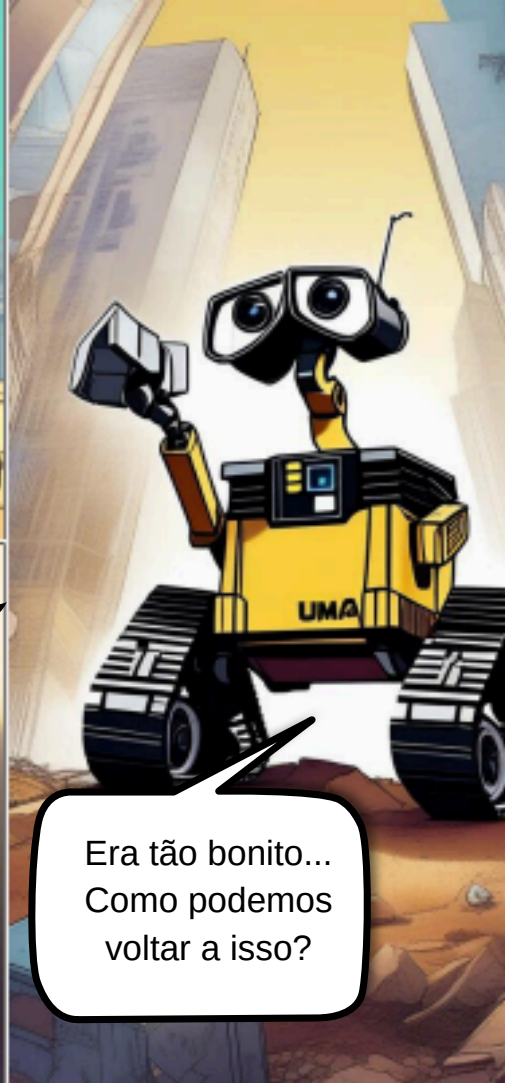
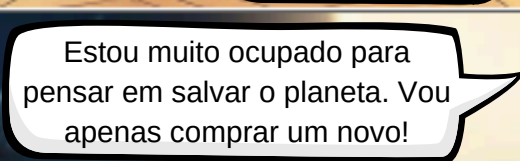


Como?

Economia Circular

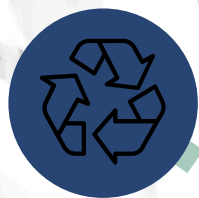
A economia circular é um modelo econômico que visa minimizar o desperdício e maximizar a reutilização de recursos. Diferente do modelo linear tradicional, que segue a sequência "extrair, produzir, consumir e descartar", a economia circular propõe um ciclo contínuo onde os produtos, materiais e recursos são mantidos em uso pelo maior tempo possível.





Reciclagem de resíduos

Reciclagem de resíduos refere-se ao processo de coleta, separação, processamento e transformação de materiais descartados a fim de criar novos produtos ou matérias-primas, a fim de reduzir a quantidade de resíduos que são enviados para aterros sanitários com o intuito de conservar recursos naturais, recuperar energia e reduzir a poluição.



Produtos sustentáveis



Produtos sustentáveis são produtos que foram desenhados, produzidos, usados e descartados de tal forma a minimizar o impacto ambiental e social ao longo de todo o seu ciclo de vida. Eles são fabricados tendo em mente a sustentabilidade, incluindo a redução do uso de recursos naturais, a minimização de resíduos, a reciclagem e a proteção da saúde humana e ambiental.



Produção Limpa



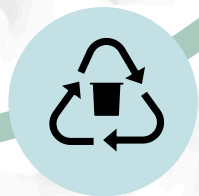
A produção limpa envolve a redução ou eliminação de resíduos, emissões e poluentes na fonte, por meio da implementação de práticas e tecnologias sustentáveis.

Melhor manutenção



Pode ser descrita como um tipo de atividade de manutenção planejada e implementada que visa prevenir falhas, otimizar de prazos disponíveis, promover a continuação do trabalho da vida útil do ativo e proteger os trabalhadores.

Coleta ao fim da vida útil



É o processo de recolhimento e retirada de produtos, equipamentos ou materiais que atingiram o fim de sua vida útil ou que não são mais utilizados. A coleta ao fim da vida útil envolve a separação, classificação e transporte dos produtos descartados para instalações de reciclagem, reutilização, tratamento ou disposição final

Mas como podemos reciclar esse tipo de resíduo?



Vamos ensinar o Wall-e?

A reciclagem de metais é um processo essencial para a preservação do meio ambiente e a conservação de recursos naturais. Ela envolve a coleta, separação, processamento e transformação de metais usados em novos produtos, reduzindo a necessidade de extrair recursos minerais da natureza. Além de contribuir para a sustentabilidade, a reciclagem de metais também gera empregos e beneficia a economia. Metais como alumínio, cobre e ferro são altamente recicláveis e podem ser reutilizados inúmeras vezes, o que torna a reciclagem uma prática fundamental na gestão de resíduos e no combate ao desperdício de materiais

Recuperando, o velho



vira novo!



(Pinto; Malpass; Malpass, 2024).

Recuperação de Metais

A recuperação de metais a partir de resíduos eletrônicos desempenha um papel crucial na redução da quantidade de lixo eletrônico por várias razões:

1

Minimização de Resíduos: a extração de metais, reduz a quantidade de resíduos que vai para aterros sanitários. Ao recuperar esses materiais, é possível desviar uma parte significativa do lixo eletrônico do fluxo de resíduos, contribuindo para a diminuição do volume total de resíduos gerados e potencial contaminante do resíduo.

2

Reciclagem de Recursos: a recuperação de metais permite que esses materiais sejam reutilizados na fabricação de novos produtos, reduzindo a necessidade de extração de recursos naturais.

3

Redução da Poluição: a biomineração utilizada para extrair metais, é considerada uma alternativa mais ecológica em comparação com métodos tradicionais de reciclagem que podem ser mais poluentes.

4

Valorização de Resíduos: a recuperação de metais transforma resíduos eletrônicos em outros recursos, promovendo uma economia circular. Isso não apenas ajuda a reduzir a quantidade de lixo, mas também cria oportunidades econômicas ao transformar resíduos em produtos reutilizáveis.

5

Conscientização e Educação: a conscientização sobre a importância da reciclagem pode aumentar a correta gestão de resíduos eletrônicos.

Mas toda recuperação de metais é sustentável?

A recuperação desses metais pode ser feita de várias maneiras, porém uma com mais impactos sobre as outras.

Recuperação tradicionais de metais

- Métodos Pirometalúrgicos: esses processos usam altas temperaturas para derreter os metais. Embora sejam eficientes, eles consomem muita energia e liberam gases tóxicos, o que é prejudicial ao meio ambiente.
- Métodos Hidrometalúrgicos: esses processos utilizam soluções químicas para extrair os metais. Eles são mais limpos, pois produzem menos poluição e consomem menos energia, mas ainda podem ter impactos negativos se não forem bem administrados.

E qual tem menos impacto?

A biomineração

Como funciona?

RESÍDUO

PRÉ-TRATAMENTO

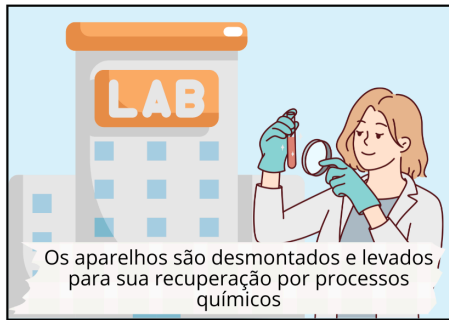
DESMONTAGEM
MOAGEM/TRITURAÇÃO
PULVERIZAÇÃO

FRAÇÃO METÁLICA

BIOHIDROMETALURGIA

**LIXIVIAÇÃO COM
MICROORGANISMOS**

METAIS



Quais processos químicos?



BIOLIXIVIAÇÃO

Biolixiviação

A biolixiviação é um processo que utiliza microrganismos, como bactérias e fungos, para extrair metais de minérios ou resíduos, como o lixo eletrônico.

Este método é considerado uma alternativa mais ecológica em comparação com os processos tradicionais de extração de metais, que geralmente envolvem métodos físico-químicos que podem ser mais poluentes e energeticamente intensivos.



RESÍDUO
eletrônico

Como funciona?

As bactérias utilizadas na biolixiviação são:

*Acidithiobacillus
ferrooxidans*

*Acidithiobacillus
thiooxidans*

Essas bactérias possuem um metabolismo quimiolitotrófico, o que significa que elas obtêm energia a partir da oxidação de compostos inorgânicos, como o ferro e o enxofre.



O ferro e o enxofre se transformam em energia!

**Mas como
isso
acontece?**

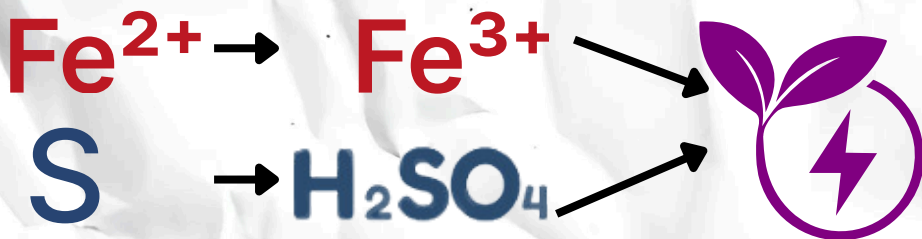


Etapas do metabolismo quimiolitotrófico.

ENTRADA

PROCESSO

SAÍDA



Oxidação do Ferro (Fe^{2+} a Fe^{3+}):

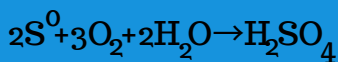
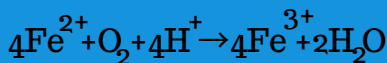
as bactérias oxidantes de ferro, como *A. ferrooxidans*, oxidam o ferro ferroso (Fe^{2+}) a ferro férrico (Fe^{3+}).

O ferro férrico (Fe^{3+}) é um agente oxidante forte que pode solubilizar metais presentes no material, como cobre e zinco, formando complexos solúveis.

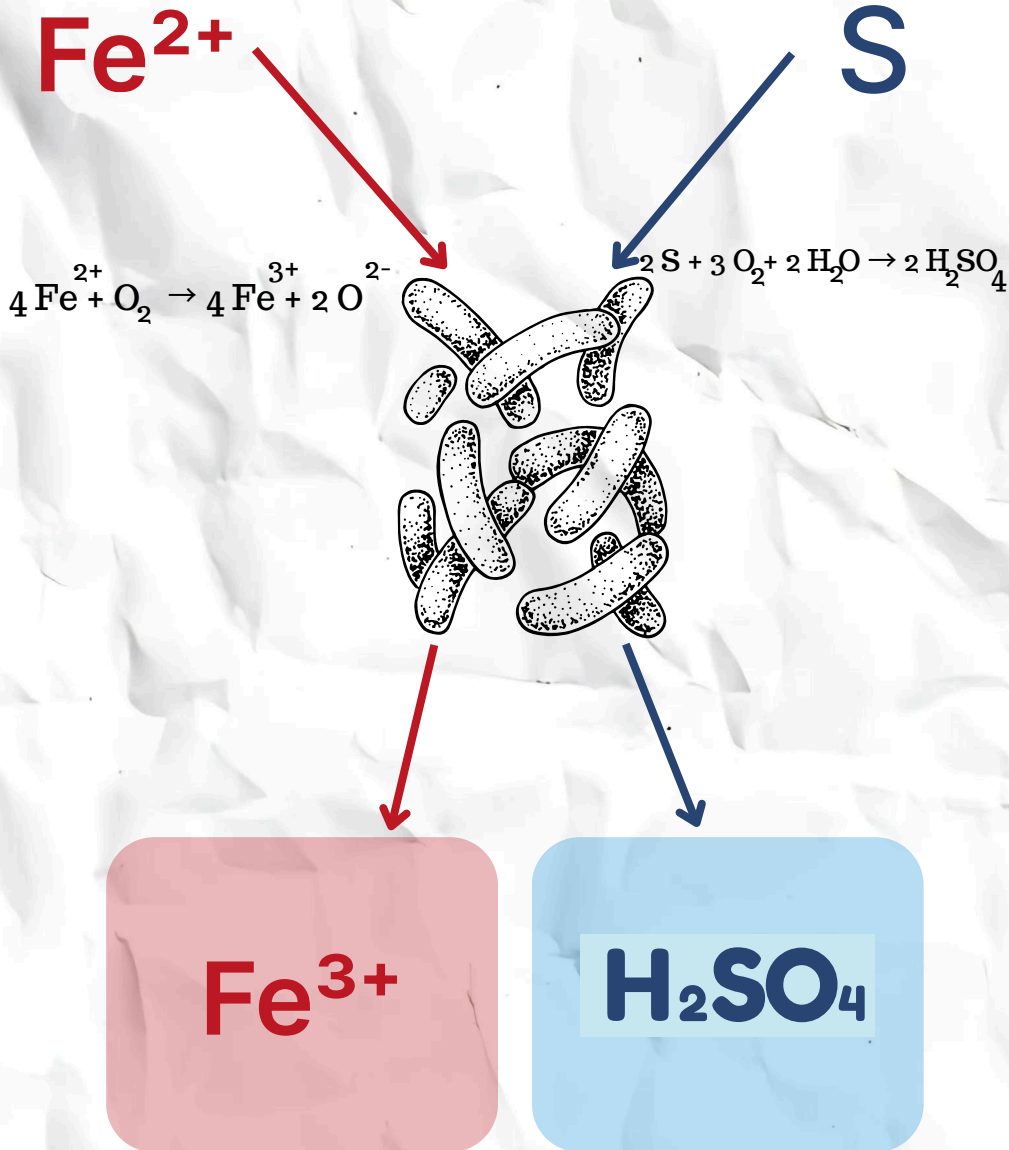
Oxidação do Enxofre (S^0 a SO_4^{2-}):

as bactérias oxidantes de enxofre, como *A. thiooxidans*, oxidam o enxofre elementar (S^0) a sulfato (SO_4^{2-}), gerando ácido sulfúrico (H_2SO_4).

O ácido sulfúrico produzido é um ácido forte que ajuda a dissolver metais e outros compostos presentes no lixo eletrônico.

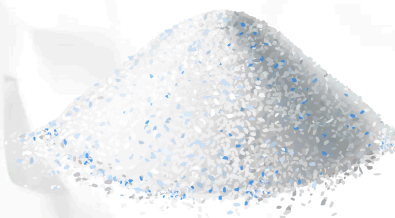


Ciclo de Oxidação do Ferro e do Enxofre por Bactérias Quimiolitotróficas

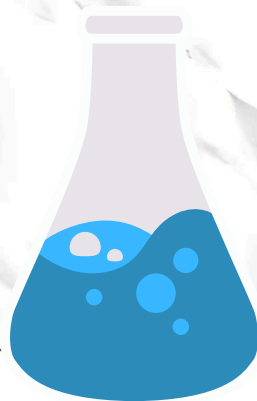




REEE são separados
adequadamente



E triturados



Microrganismo são colocados
produzindo soluções ácidas
ou básica para lixiviação dos
materiais.



Resíduos eletrônicos são
colocados no reator.



**Metais solubilizados
são coletados!**

Resumo

Biolixiviação de Resíduos Eletrônicos: Transformando Desperdício em Recursos

O que é Biolixiviação?

A biolixiviação é um processo biotecnológico que utiliza microrganismos para extrair metais valiosos de resíduos, como os eletrônicos.

Como Funciona

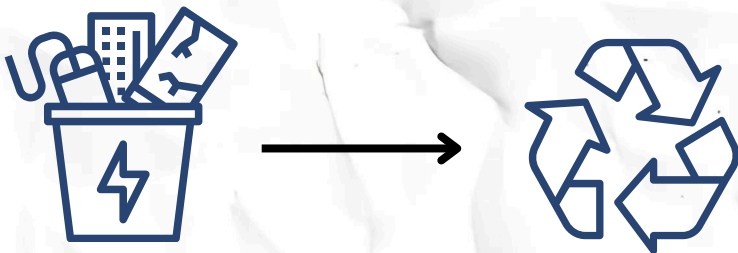
Os microrganismos promovem reações químicas que dissolvem metais, como cobre, tornando-os solúveis.

Tipos de Microrganismos Utilizados:

Bactérias quimiolitotróficas, como *Acidithiobacillus ferrooxidans* e *Acidithiobacillus thiooxidans* são frequentemente utilizadas.

Benefícios da Biolixiviação

1. Redução de resíduos eletrônicos.
2. Recuperação de metais valiosos.
3. Processo ambientalmente de menor impacto



Conclusão

A Biolixiviação não é apenas uma solução para a recuperação de metais, mas também um passo importante em direção a um futuro mais sustentável. Ao entender e apoiar essas tecnologias, todos nós podemos contribuir para a preservação do meio ambiente e a promoção de um mundo mais responsável em relação ao uso de recursos. A biolixiviação é um exemplo claro de como a ciência pode ser aplicada para resolver problemas reais e criar um impacto positivo no nosso planeta.

Entretanto, ainda existem desafios a serem superados, como a toxicidade dos metais para os microrganismos e a necessidade de otimizar as condições do processo. Pesquisas contínuas e inovações tecnológicas são essenciais para aprimorar essa técnica e torná-la ainda mais eficaz.

Se até o wall-e consegue imaginar um futuro mais sustentável, será que nós também não podemos fazer a nossa parte para transformar o mundo em um lugar melhor?

BIBLIOGRAFIA

Bevilaqua, D.. Biomineração. In: Flavio Alterthum; Willibaldo Schmidell; Urgel de Almeida Lima; Iracema Moraes. (Org.). **Biotecnologia Industrial**. 2ed.São Paulo: Blucher, 2019, v. 3, p. 1-760.

Cossu, R.; Williams, I. D. Urban mining: Concepts, terminology, challenges. **Waste Management**, v. 45, p. 1–3, nov. 2015.

Ferreira Pinto, C.; Granato Malpass, A. C.; Poiter Malpass, G. R. Reciclagem de Placas de Circuito Impresso para Extração de Cobre: Uma Revisão dos Métodos Utilizados. **Revista Virtual de Química**, 2024.

Srivastav, A. L. et al. Concepts of circular economy for sustainable management of electronic wastes: challenges and management options. **Environmental Science and Pollution Research** Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, , 1 abr. 2023.

Valix, M. Bioleaching of Electronic Waste: Milestones and Challenges. Em: **Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Solid Waste Management**. [s.l.] Elsevier Inc., 2017. p. 407–442.

WALL-E. Stanton, A; Docter, P. Estados Unidos e Canadá : Walt Disney Pictures, 27 de junho de 2008.



unesp



Instituto de Química – UNESP
Araraquara