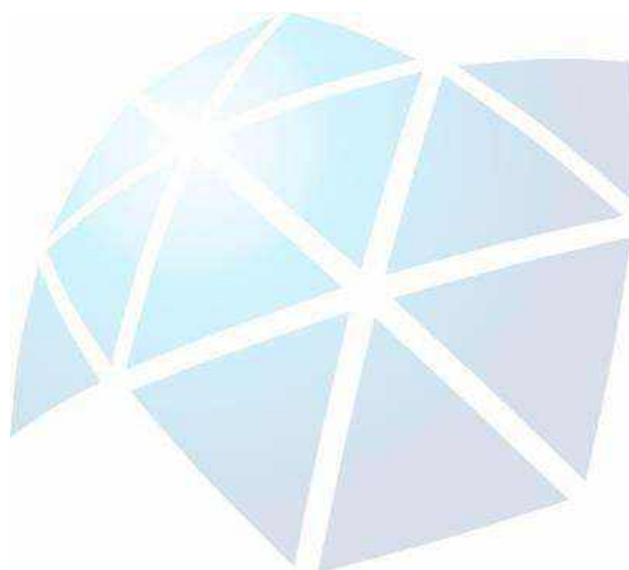


UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Araraquara - SP

Melissa Maria Opini

Conectando Ciência e Sustentabilidade através da Divulgação Científica



ARARAQUARA
2024

Melissa Maria Opini

Conectando Ciência e Sustentabilidade através da Divulgação Científica

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” como parte das exigências para obtenção do título de Licenciada em Química.

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Denise Bevilaqua

O61c Opini, Melissa Maria
 Conectando ciência e sustentabilidade através da divulgação científica / Melissa Maria Opini. -- Araraquara, 2024
 90 f. : il.

 Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura - Química) -
 Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Química,
 Araraquara
 Orientadora: Denise Bevilaqua
 Coorientador: Guilherme Salvador Peres Neto

 1. Divulgação científica. 2. Resíduos de metais. 3. Economia circular. 4. Gestão ambiental. 5. Educação não-formal. I. Título.

MELISSA MARIA OPINI

CONECTANDO CIÊNCIA E SUSTENTABILIDADE ATRAVÉS DA DIVULGAÇÃO
CIENTÍFICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho” como parte dos requisitos para
obtenção do título de Licenciado em Química

Araraquara, 29 de novembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 DENISE BEVILAQUA
Data: 03/12/2024 17:24:52-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Denise Bevilaqua

Documento assinado digitalmente
 JANAINA CONRADO LYRA DA FONSECA
Data: 04/12/2024 08:45:53-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Janaina Conrado Lyra Fonseca

Documento assinado digitalmente
 EDUARDO AUGUSTO KÜLL
Data: 04/12/2024 18:25:13-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Eduardo Augusto Küll

DADOS CURRICULARES

IDENTIFICAÇÃO:

Nome: Melissa Maria Opini

Nome em citação bibliográfica: Opini, M. M.

FORMAÇÃO ACADÊMICA/TITULAÇÃO:

Graduação em Licenciatura em Química - Instituto de Química UNESP – Araraquara/SP

APRESENTAÇÃO DE TRABALHOS:

XXXVI Congresso de Iniciação Científica da UNESP - IQ/Araraquara. **Estudo da eficiência do sulfato férrico e ácido sulfúrico biológicos na biolixiviação de lixo eletrônico.** 2024. (Apresentação de pôster).

X Congresso Farmacêutico da UNESP e VI Jornada da Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia – FCF/Araraquara. **Educação Ambiental - Explorando os sentidos na Trilha Sensorial do CCA.** 2022. (Apresentação de pôster).

VI Congresso de Extensão da AUGM: Democratização e Extensão Universitária – UNICAMP/Campinas. **Identificação de riscos ergonômicos e químicos na Cooperativa de materiais recicláveis Acácia.** 2023. (Apresentação de pôster).

XX EVENTO DE EDUCAÇÃO EM QUÍMICA – IQ/Araraquara. **Trilha Sensorial do CCA - experiências durante a pandemia.** 2022. (Apresentação de Slides).

CIREALSSAM. **Gestão em segurança: avaliação dos riscos ergonômicos na cooperativa acácia.** 2022. (Apresentação de pôster).

VIII Congresso Brasileiro de Educação CBE – UNESP/Bauru. **Reflexão sobre a alimentação em uma escola estadual: da redução no desperdício ao consumo de itens produzidos em horta comunitária.** 2024. (Apresentação de pôster).

*Gratidão a Deus por tornar tudo
possível e aos meus pais pelo apoio.*

DEDICATÓRIA

Dedico o presente trabalho aos meus pais e a Deus, e principalmente a minha mãe do céu.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente queria agradecer a Deus pelas inúmeras bênçãos em minha vida. Estar concluindo meu curso dos sonhos é a realização de minhas orações.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão aos meus pais, Pedro e Katia pelo apoio incondicional e a dedicação que sempre me ofereceram. Agradeço por cada história compartilhada, por me ensinar valores importantes e por estar sempre presente, me incentivando a seguir meus sonhos. Vocês são minha inspiração.

A minha avó, Denozir, que infelizmente não está mais conosco. Acredito que, onde quer que você esteja, ela estaria orgulhosa de cada passo que dei nesta jornada.

Aos minha família, o amor, os ensinamentos e o apoio que sempre recebi de vocês foram essenciais.

Ao meu namorado Rafael, sou a pessoa mais feliz por poder começar e terminar essa jornada ao seu lado, seu amor e carinho foi e é meu porto seguro.

Aos meus amigos, que deixaram esta trajetória muito mais leve e gratificante. Obrigado pelo apoio, pelas risadas e por estar ao meu lado nos momentos de dificuldade e felicidade. Em especial aos meus irmãos de berço, Pedro, Raissa e Bruno, e aos presentes que a Unesp me deu, Joseane, Lara, Vitor, Pietra e Gian.

Aos meus professores, principalmente a Denise Bevilaqua, Janaina Conrado Lyra Fonseca, Eduardo Küll. E ao Guilherme Salvador Peres Neto e Raul Natale Junior, agradeço por compartilhar seus conhecimentos e experiências, por acreditar em mim e ter paciência. Suas orientações foram valiosas para o meu crescimento.

E não poderia deixar de agradecer também aos meus gatinhos, que foram meu suporte ao longo da vida, me dando amor e carinho incondicional.

“Ninguém é suficientemente perfeito, que não possa aprender com o outro e, ninguém é totalmente estruído de valores que não possa ensinar algo ao seu irmão”.¹

¹ São Francisco de Assis

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo a elaboração de um Texto de Divulgação Científica (TDC) voltado para estudantes do Ensino Médio, com foco na compreensão dos principais conceitos relacionados à mineração urbana e à química dos processos de recuperação de metais. A metodologia utilizada baseou-se nas ferramentas propostas por Ferreira (2011) e Zamboni (1996), que orientaram a construção de materiais de divulgação científica, considerando a definição de um público-alvo e a necessidade de decodificar o discurso científico para um público não especializado. O presente trabalho destaca a importância de sistematizar conceitos químicos e identificar características discursivas necessárias para a elaboração do TDC, visando uma comunicação clara e objetiva. Os resultados incluem a promoção da compreensão dos conceitos químicos envolvidos na mineração urbana e a disseminação de informações relevantes sobre o tema.

Palavras-chave: *texto de divulgação científica; recuperação de metais e economia circular.*

ABSTRACT

The present work aims to develop a Scientific Dissemination Text (SCT) aimed at high school students, focusing on the understanding of the main concepts related to urban mining and the chemistry of metal recovery processes. The methodology used was based on the tools proposed by Ferreira (2011) and Zamboni (1996), which guided the construction of scientific dissemination materials, considering the definition of a target audience and the need to decode scientific discourse for a non-specialized audience. The present work highlights the importance of systematizing chemical concepts and identifying discursive characteristics necessary for the development of the SCT, aiming at clear and objective communication. The results include promoting the understanding of chemical concepts involved in urban mining and the dissemination of relevant information on the subject.

Keywords: *scientific dissemination text; metal recovery and circular economy.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Principais processos tradicionais de recuperação de metais.....	19
Figura 2 - Processos da biohidrometalurgia para recuperação de metais.....	19
Figura 3 - Diferenças sequenciais entre os termos relacionados à recuperação, reciclagem e extração de recursos a partir de resíduos.	20
Figura 4 - Principais conceitos envolvidos na Economia Circular	22
Figura 5 - Primeira pesquisa de opinião feita com os leitores de Pesquisa FAPESP.	24
Figura 6 - Geração e reutilização de lixo eletrônico em diferentes continentes.	28
Figura 7 - Três estágios de alfabetização científica.	33
Figura 8 - Diferentes modalidades de aprendizagem.	33
Figura 9 - Critérios de diferenciação dos tipos de aprendizagem.	34
Figura 10 - Diferentes formas de divulgação científica.	35
Figura 11 - Diferentes formas de difusão.....	36
Figura 12 - Elementos do discurso.	39
Figura 13 - Categorias utilizadas para a análise dos TDC.	39
Figura 14 - Etapas no processo de criação do TDC.	40
Figura 15 - Categorias utilizadas para a análise dos TDC.	41
Figura 16 - Análise geral sobre o TDC.....	43
Figura 17 - Análise específica sobre o TDC.....	44
Figura 18 - Análise do TDC em relação a forma.	49
Figura 19 - Ciclo de Oxidação do Ferro e do Enxofre por bactérias.....	52
Figura 20 - Gráfico sobre a geração e reutilização de resíduos eletrônicos nos continentes. ...	53
Figura 21 - Ciclo do resíduo eletrônico reaproveitado.	53
Figura 22 - Infográfico de pergunta e resposta.	54
Figura 23 - Lista de tópicos sobre os benefícios da recuperação de metais.	55
Figura 24 - Diferença de lixo e resíduo.	55
Figura 25 - Modelo de referência adotado no TDC.	56
Figura 26 - História em quadrinho sobre a mineração urbana.....	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Seis classes gerais dos REEE.	29
Quadro 2 - Bactérias de interesse na biomineração.	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
DC	Divulgação Científica
REE	Resíduo Eletrônico
REEE	Resíduo Eletroeletrônico
TDC	Texto de Divulgação Científica
ODS	Objetivos Desenvolvimento Sustentável

APRESENTAÇÃO

Ao longo da trajetória da minha vida, só estive em proximidade com a educação pública, frequentei apenas uma escola no município de Trabiçu, desde a pré educação até o ensino médio. Durante a última etapa da minha formação básica o meu gosto pelas ciências da natureza começou a florescer especificamente pela química. Isso aconteceu devido a meus professores, a paixão deles pela licenciatura, e principalmente pela química, me contagiou de alguma forma que não sei como explicar.

Então decidi que queria ser professora, mas não somente professora, o desejo de ser química também me contagiou. Mas essa euforia durou pouco tempo após eu descobrir que nas universidades privadas da região onde moro não havia o curso de licenciatura ou bacharelado em química. Fiquei decepcionada por um tempo, até que meus professores falaram que a universidade privada não era a única opção, e o que eu queria estava mais perto do que eu imaginava.

Foi então que conheci a UNESP e o Instituto de Química em Araraquara, que era nada mais nada menos que umas das cidades vizinhas. Porém ainda existia o desafio, entrar nesta universidade através do vestibular. Para a minha felicidade tudo ocorreu bem, passei e ingressei no ano de 2020.

Uma das minhas motivações para estudar química, era a minha preocupação com nosso mundo, sempre gostei de questões ambientais e sociais. Então queria “moldar” minha graduação em torno desse meio. Comecei então um projeto de extensão de resíduos sólidos em parceria com uma cooperativa de materiais recicláveis, ao qual participei de alguns eventos e quem sabe futuramente a publicação de um artigo.

Após esse projeto, a mesma professora coordenadora me propôs trabalhar em mais um projeto, eu não neguei pois além do auxílio e horas complementares estava cada vez mais interessada pelo assunto. Dessa vez o tema do projeto foi reaproveitamento de alimentos, vinculada a uma escola pública estadual. E a partir daí fiquei apaixonada pelo que fazia. Além de trabalhar com resíduos, estava promovendo uma educação ambiental de maneira efetiva com alunos do ensino médio.

E minha vontade pelo assunto não parou aí, queria muito me aperfeiçoar em técnicas no laboratório, não me sentia segura nesse assunto, pois a pandemia afetou

diversas das minhas aulas práticas. Então queria fazer parte de uma Iniciação Científica, mas antes precisava achar um tema que se encaixasse nesse meio de resíduos.

Ao mesmo tempo que buscava uma orientação para minha IC, também precisava pensar na mesma coisa para o meu trabalho de conclusão de curso. Então conhecendo e conversando com a Prof.^a Dr.^a Denise Bevilaqua já tinha resolvido essas duas questões, alívio era a palavra. A Prof.^a Dr.^a Denise me colocou para trabalhar junto com o mestrando Guilherme, o qual me ajudou muito e continua ajudando, então ele se tornou meu coorientador.

O tema dessa pesquisa será sobre resíduos e mineração urbana juntamente com a divulgação científica, atendendo a linha de pesquisa LT 04 - EDUCAÇÃO EM ESPAÇOS NÃO FORMAIS E DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA, o mesmo tema foi trabalhado na minha IC.

A partir disso pensamos em um objetivo geral que será elaborar um material de divulgação científica promovendo a compreensão de química e dos principais conceitos envolvidos na mineração urbana. E finalmente após algumas conversas com meus orientadores fizemos a questão de pesquisa, “Como a elaboração de um texto de divulgação científica pode promover a compreensão de conceitos envolvidos na mineração urbana?”

E pensamos em dois objetivos específicos, seriam eles entender os conceitos químicos que envolvem a pesquisa de mineração e resíduos urbanos; identificar características necessárias para a elaboração de um texto de divulgação científica.

Estou feliz podendo contribuir minimamente para a minha casa que é esse lugar que chamamos de planeta Terra.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS DE PESQUISA	26
3	REFERENCIAL TEÓRICO	27
3.1	Aporte teórico: mineração urbana, economia circular e recuperação de metais 27	
3.1.1	Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos	28
3.1.2	Processos Metalúrgicos	29
3.1.3	Bio-mineração.....	29
3.1	Aporte teórico: Fundamentos da Divulgação Científica	31
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5.1	Elementos e características do TDC em relação ao conteúdo.....	43
5.1.1	TEMÁTICA	44
5.1.2	CARACTERÍSTICAS DA ATIVIDADE CIENTÍFICA.....	46
5.1.3	ABORDAGENS E CONTEXTOS.....	47
5.2	Elementos e características do TDC em relação à forma	49
5.2.1	ESTRUTURA	49
5.2.2	LINGUAGEM.....	50
5.2.3	RECURSOS VISUAIS E TEXTUAIS	51
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57

1 INTRODUÇÃO

A sociedade contemporânea enfrenta desafios críticos relacionados à gestão sustentável dos recursos naturais e à busca por soluções que promovam o equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a preservação socioambiental (Srivastav *et. al.*, 2023). No cenário global, levando em consideração os desafios socioeconômicos e ambientais encontrados, há uma busca persistente por abordagens que promovam o desenvolvimento sustentável (Parreira; Guimarães, 2023). Entretanto, a ação antropogênica já levou a transformações significativas nos ecossistemas da Terra.

Para Matos (2018), já é possível notar as consequências dessas transformações. Eventos que antes eram raros e que passaram a se tornar presentes no cenário mundial, como secas, esgotamento de recursos hídricos, alterações do clima e outros impactos ambientais. Esses fatores evidenciam uma crise ambiental interligada aos processos de modernização e desenvolvimento tecnointustrial (Matos; Santos, 2018).

Diferentes problemas são trazidos pelo modelo econômico atual como: a diminuição das reservas naturais de matérias-primas; aumento do consumo de fontes não renováveis e redução do espaço para disposição de resíduos. Há, portanto, uma necessidade de se produzir menos resíduos e controlar suas contaminações ambientais fazendo seu tratamento (Cossu; Williams, 2015).

Um exemplo de atividade antropogênica que possui uma importância econômica para a sociedade é a mineração tradicional, que se alinha a modelo econômico linear atual. A mineração tradicional, gera impactos socioambientais, dentre os principais o impacto mecânico ao solo e a formação das drenagens ácidas de minas (DAM)(Dudka; Adriano, 1997). Além disso, o esgotamento das reservas naturais de metais é uma problemática relevante, que pode impactar a economia global. Afinal, são fundamentais para diferentes setores como transporte, comunicação e produção de energia (Beylot; Villeneuve, 2015). Dessa forma, uma abordagem que surge para transformar o método atual de gestão de resíduos e extração de metais é a mineração urbana (Brunner, 2011).

A mineração urbana visa expandir e mitigar os impactos ambientais causados pelas atividades humanas, a mineração urbana permite a recuperação de materiais de alto valor agregado. Afinal, os resíduos industriais frequentemente mostram-se mais ricos que as próprias reservas naturais (Cossu; Williams, 2015). Pelo mesmo motivo, a mineração urbana usualmente está atrelada aos tratamentos de resíduos de

equipamentos eletroeletrônicos (REEE), usualmente com maiores concentrações de metais preciosos e terras raras.

Para a recuperação dos metais existem diferentes processos, podendo ser empregados dentre eles os métodos tradicionais, como hidrometalúrgicas e a pirometalúrgicas. Porém tais métodos possuem suas desvantagens, principalmente atreladas a questões ambientais, como um alto consumo de energia e geração de subprodutos tóxicos (Pinto; Malpass; Malpass, 2024).

A biohidrometalurgia surge como uma forma com menos impacto ambiental e com menor custo para a extração e recuperação de metais de baixo teor e rejeitos minerais. Diferente da hidrometalurgia onde produtos com alto poder lixiviante são usados como ácidos sulfúrico, ácido nítrico e outros compostos básicos ou oxidantes, na biohidrometalurgia são os próprios microrganismos que produzem esses oxidantes (Yamane; Espinosa; Tenório, 2011). Dessa forma, a produção de agentes lixiviantes se torna menos perigosa e os custos são diminuídos.

Um modelo de cada processo pode ser observado na Figura 1 e 2.

Segundo Ferreira (2024), a biohidrometalurgia:

É uma forma ecologicamente correta e econômica de tratamento de resíduos eletrônicos. Esse processo utiliza o potencial de solubilização de metais por microrganismos a partir de resíduos sólidos seguido de recuperação da solução. Com menor consumo de energia e uso mínimo de produtos químicos, este processo tornou-se uma estratégia promissora e alternativa para o processo de recuperação de metais. (Ferreira, 2024, p. 13 - 14).

Figura 1 - Principais processos tradicionais de recuperação de metais.



Fonte: Adaptado de Ferreira 2024, p.9.

Figura 2 - Processos da biohidrometalurgia para recuperação de metais.



Fonte: Adaptado de Ferreira 2024

Dessa forma, ao extrair metais de REEE e resíduos urbanos em geral, a mineração urbana reduz a pressão sobre ecossistemas naturais. Há dessa forma, uma contribuição para a mitigação dos impactos ambientais associados à mineração convencional (Xavier; Ottoni; Abreu, 2023). Mais a fundo, a mineração urbana se relaciona a outros conceitos mais amplos e complexos como a economia circular (Figura 3) (Cossu; Williams, 2015).

Figura 3 - Diferenças sequenciais entre os termos relacionados à recuperação, reciclagem e extração de recursos a partir de resíduos.



Fonte: adaptado de Cossu e Williams (2015).

No contexto da economia circular, a ênfase recai sobre a criação de um sistema onde os produtos, materiais e recursos são mantidos em ciclos contínuos de uso,

reutilização e reciclagem, ilustrado pela Figura 4 (Cossu; Williams, 2015; Korhonen; Honkasalo; Seppälä, 2018). A ideia é reduzir o desperdício e minimizar o impacto ambiental, promovendo uma abordagem mais sustentável para a produção e o consumo. Refletindo em menor produção de resíduos, favorecendo o crescimento econômico e novas oportunidades de emprego (Cossu; Williams, 2015).

Essa prática alinha-se de maneira significativa com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), promovendo a produção e o consumo responsáveis (ODS 12) e a ação climática (ODS 13) (Roma, 2019). Esses ODS foram criados pelos países membros das nações unidas para terem um compromisso de compreender os limites ecológicos do nosso planeta e proteger o meio ambiente garantindo um desenvolvimento sustentável (Dantas; Fontgalland, 2021).

Figura 4 - Principais conceitos envolvidos na Economia Circular



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

Esses conceitos interagem de maneira sinérgica, sugerindo um novo modelo para o desenvolvimento socioeconômico. No qual a exploração responsável dos recursos urbanos, a promoção da circularidade e o aproveitamento sustentável dos recursos biológicos formam a base para uma sociedade mais equitativa e ecologicamente equilibrada (Xavier; Ottoni; Abreu, 2023).

No entanto, a compreensão sobre os processos e benefícios da mineração urbana pode ser limitada devido à essa complexidade dos conceitos envolvidos. Neste cenário, a Divulgação Científica (DC) se torna uma ferramenta para a disseminação de conhecimentos complexos, visando a promoção da compreensão pública sobre temas relevantes, traduzindo a linguagem técnica e intrincada em termos compreensíveis para o público em geral. Para Zamboni (2001) a DC seria uma atividade de decodificação, sendo o discurso científico reformulado ao grande público:

A divulgação científica é entendida, de modo genérico, como uma atividade de difusão, dirigida para fora de seu contexto originário, de conhecimentos científicos produzidos e circulantes no interior de uma comunidade de limites restritivos, mobilizando diferentes recursos, técnicas e processos para a veiculação das informações científicas e tecnológicas ao público em geral. (Zamboni, 2001, p. 45 - 46).

No contexto de ensino de ciências surgem os Textos de Divulgação Científica (TDC). O TDC tem como objetivo facilitar o ensino e a aprendizagem assim como os livros didáticos, lousa, dentre outros recursos utilizados (Ferreira; Imasato; Queiroz, 2012; Ferreira; Queiroz, 2012).

Mas não existe uma maneira de um TDC alcançar todos os públicos, uma vez que o público em geral é heterogêneo, apresentando uma diversidade de idades, interesses e formas de linguagem (Grillo, 2015). Portanto, torna-se necessário definir um público-alvo dentro de um TDC, e delimitar o perfil desse público escolhido, incluindo o nível de discurso específico, a natureza dos canais de comunicação utilizados ou preferidos, entre outros fatores (Nascimento; Junior, 2010; Grillo, 2015).

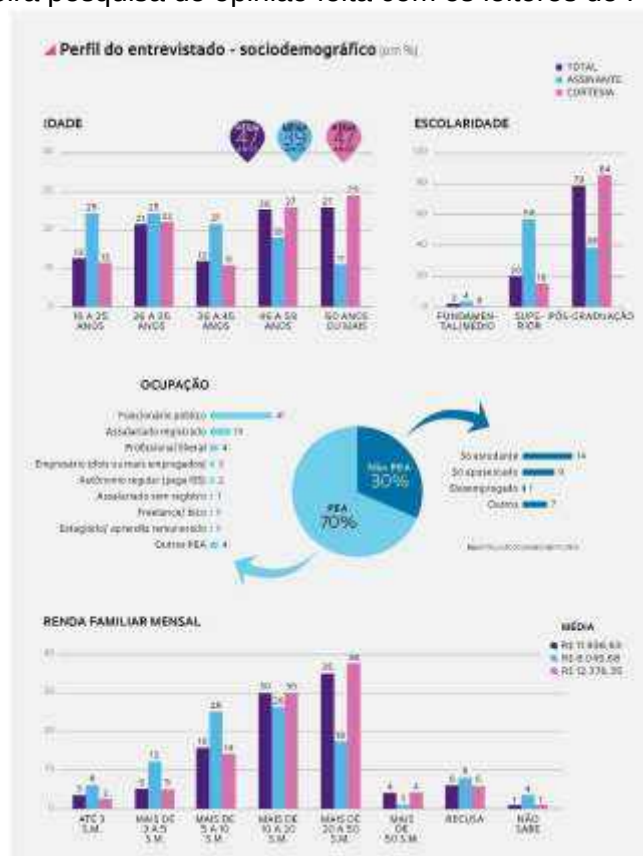
A disseminação científica compreende um código restrito e um público de especialistas, desdobrando-se em dois níveis: primeiro, a disseminação intrapares que “diz respeito à circulação de informações científicas e tecnológicas entre especialistas de uma área ou de áreas conexas”. E segundo a disseminação extrapares “diz respeito à circulação de informações científicas e tecnológicas para especialistas que se situam fora da área da disseminação. Temos ainda, nesse caso, um público especializado, embora não necessariamente naquele domínio específico”. (Grillo, 2006, p. 4).

A elaboração de materiais de divulgação científica direcionados a estudantes do ensino médio é essencial. Este público, está em fase crucial de formação intelectual e cívica, tendo potencial de internalizar e disseminar práticas sustentáveis ao longo de

suas vidas (Staus *et al.*, 2021). Ao abordar conceitos complexos de forma acessível e envolvente, os textos de divulgação científica podem despertar o interesse dos jovens pela ciência e pela sustentabilidade. E, portanto, incentivar uma consciência crítica sobre a gestão de resíduos e a recuperação de recursos, formando cidadãos mais informados e responsáveis (Staus *et al.*, 2021).

Uma pesquisa feita pela revista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Figura 5, mostrou que foi obtida uma elevada nota de aprovação por parte do público. Esse alto desempenho se deve, segundo os entrevistados, ao fato de seus textos serem de fácil compreensão.

Figura 5 - Primeira pesquisa de opinião feita com os leitores de Pesquisa FAPESP.



Fonte: Revista Pesquisa Fapesp (2011).

Nesse contexto, a educação e a divulgação científica desempenham um papel crucial, pois tornam acessíveis conceitos complexos, permitindo que a população compreenda e adote práticas sustentáveis (Grillo, 2006).

Ao elaborar conteúdos acessíveis voltada para públicos específicos, promove-se assim uma educação ambiental significativa. Isso não apenas ajudará na redução de

resíduos urbanos, mas também fortalecerá a conscientização ambiental, contribuindo para a construção de uma sociedade mais sustentável e informada (Sotério, 2020).

2 OBJETIVOS DE PESQUISA

O objetivo geral do trabalho foi elaborar um Texto de Divulgação Científica voltado para alunos do Ensino Médio, promovendo a compreensão dos principais conceitos envolvidos na mineração urbana.

2.1 Objetivos específicos

- Sistematizar os conceitos que envolvem a pesquisa de mineração urbana e a química dos processos para recuperação de metais.
- Identificar características discursivas necessárias para a elaboração de um Texto de Divulgação Científica sobre mineração urbana.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo teórico foram abordados os conhecimentos químicos essenciais para a produção do TDC, além dos princípios teóricos que definem a DC como um tipo específico de discurso. Para isso, a seção foi organizada em duas partes: a primeira dedica-se aos conceitos químicos relevantes para a pesquisa, como a biomineração, resíduos eletroeletrônicos e métodos biometalúrgicos. Já o segundo bloco tem o objetivo de explorar os conceitos, fundamentos teóricos, propósitos e benefícios da DC.

3.1 Aporte teórico: mineração urbana, economia circular e recuperação de metais

A história da biomineração remonta a séculos atrás, quando técnicas rudimentares de lixiviação bacteriana começaram a ser empregadas em diversas regiões da Europa, como Itália, Alemanha e Hungria, durante a Idade Média (Bevilaqua, 2019, p.548). O verdadeiro avanço na compreensão da biomineração ocorreu no século XX, quando, na década de 1940, cientistas estabeleceram a relação entre bactérias e a geração de drenagem ácida de minas, um fenômeno que se tornaria um foco de pesquisa (Bevilaqua, 2019, p.548).

A identificação de espécies como a *Thiobacillus ferrooxidans*, atualmente reclassificado como *Acidithiobacillus ferrooxidans*, marcou um ponto de virada, permitindo que a indústria mineradora começasse a explorar o potencial dos microrganismos para a recuperação de metais de minérios refratários (Bevilaqua, 2019, p.548). Com o aumento da demanda por métodos mais sustentáveis e econômicos, a biomineração emergiu como uma alternativa viável, unindo ciência e tecnologia em um esforço para transformar a maneira como os recursos minerais são extraídos e processados (Bevilaqua, 2019).

Os principais tipos de recursos minerais utilizados na biomineração incluem minérios metálicos, como ouro, prata e cobre. A escolha dos recursos minerais adequados é crucial para o sucesso do processo de biomineração, uma vez que a presença de determinados minerais pode afetar a eficiência da extração por microrganismos. Portanto, a identificação e caracterização dos recursos minerais é uma

etapa fundamental na implementação de projetos de biomineração, visando a maximização da recuperação de minerais valiosos (Giese, 2020).

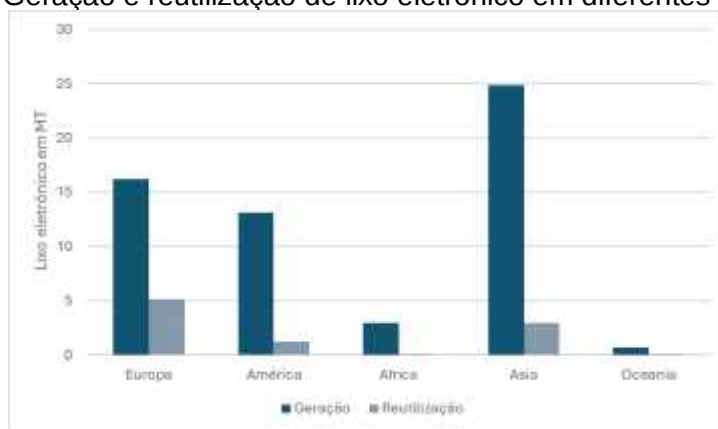
Existe também a sensibilização acerca dos efeitos ambientais de mineração convencional, ocorrendo uma redução da quantidade de lixo enviada para aterros sanitários, assim como o número de novas minas que, impactam o meio ambiente (He *et. al.*, 2023).

3.1.1 Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos

No que se refere às áreas urbanas, as principais fontes de REEE são determinadas pelo desenvolvimento socioeconômico e padrão de consumo da população. Em geral pode ser listado que a maior parte dos REEE é representada pelas residências e pelo setor industrial (Srivastav *et al.*, 2023)

Ao mesmo tempo, a gestão de REEE enfrenta uma série de limitações que impactam a eficácia e a sustentabilidade. Isso inclui a falta de infraestrutura para a coleta, transporte e tratamento dos resíduos, especialmente nas áreas urbanas densamente povoadas, o que pode ser visto pela Figura 6 (Srivastav *et al.*, 2023).

Figura 6 - Geração e reutilização de lixo eletrônico em diferentes continentes.



Fonte: Adaptado de Srivastav *et al.*, (2023, p. 3).

O condicionamento dos REEE, isto é, a separação dos diferentes materiais presentes nos equipamentos é uma problemática. Afinal a presença de plásticos, resinas e vidros podem dificultar o processo de recuperação (Srivastav *et al.*, 2023).

O mau gerenciamento desses resíduos gera efeitos negativos sobre o ambiente e a sociedade. A contaminação do solo e da água são problemas graves causados pelo descarte inadequado dos REEE. O descarte incorreto dos REEE não é meramente

desperdício de matéria-prima, mas também é causador de sérios impactos ambientais (Srivastav *et al.*, 2023).

A classificação de REEE de acordo com suas características permite o manejo correto e a decisão de uso de métodos de tratamento e recuperação apropriados. A bibliografia os nomeia de acordo com seus seis tipos, como podem ser observados no Quadro 1:

Quadro 1 - Seis classes gerais dos REEE.

Classes Gerais	Alguns exemplos
Equipamentos de troca de calor	Refrigeradores, freezers, aquecedores e condensadores.
Telas e monitores	Celulares, notebooks, tablets, televisores e monitores.
Lâmpadas	Lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de descarga de alta intensidade e lâmpadas de LED.
Equipamentos grandes	Lava-louças, lavadoras e secadoras de roupa, fogões elétricos grandes, equipamentos de impressão e cópia, e painéis fotovoltaicos.
Equipamentos pequenos	Aspiradores de pó, micro-ondas, ventiladores, torradeiras, chaleiras elétricas, barbeadores, balanças, calculadoras, brinquedos elétricos e eletrônicos, ferramentas, dispositivos de monitoramento e instrumentos de controle médicos.
Equipamentos de telecomunicação e pequenos eletrônicos	Celulares, aparelhos de GPS, roteadores e computadores.

Fonte: Adaptado de Srivastav *et al.*, (2023, p.3).

3.1.2 Processos Metalúrgicos

A lixiviação de metais é realizada com um reagente químico onde os resíduos triturados são tratados com soluções ácidas ou alcalinas que fazem com que se dissolva o metal alvo. Depois de dissolver os cátions metálicos, a solução resultante contém os metais dissolvidos (Valix, 2017).

Essa técnica faz parte dos métodos hidrometalúrgicos apresentando vantagens significativas em comparação com os métodos físicos, como a pirometalurgia. A eficiência energética é geralmente melhor, o que reduz os custos operacionais e, especialmente, a alta taxa de recuperação de metais (Ferreira; Malpass; Malpass, 2024).

Porém a hidrometalurgia gera impactos ambientais, mesmo que menores comparados a outros métodos. Os reagentes químicos utilizados causam a geração de

efluentes tóxicos, que geralmente não possuem um tratamento e descarte adequado, o que não obedece aos OSD. (He *et al.*, 2023).

Mas existem várias formas de minimizar os impactos, desde a implementação de métodos de recuperação mais limpos e eficientes até a adoção de órgãos de controle mais rígidos. Por exemplo, as pesquisas sobre metodologias baseadas na biohidrometalurgia redirecionaram o foco atual dos métodos hidrometalúrgicos e reduziram a necessidade de compostos químicos tóxicos. (Valix, 2017).

3.1.3 Biomineração

A biomineração é uma alternativa aos processos convencionais de metalurgia, com o intuito de oferecer uma abordagem mais sustentável e eficiente para a extração de metais. A crescente demanda por processos mais limpos e economicamente viáveis impulsionou o desenvolvimento e aprimoramento da biohidrometalurgia ao longo das décadas (Zhang; Zhong; Geng, 2019).

A biomineração é um processo que utiliza microrganismos para a extração de metais, oferecendo uma alternativa sustentável e econômica em comparação aos métodos tradicionais de mineração. Este processo se divide principalmente em duas técnicas: biolixiviação e bio-oxidação (Valix, 2017).

Na biolixiviação, microrganismos como, *Acidithiobacillus ferrooxidans*, são empregadas para mobilizar metais. Esses microrganismos oxidam compostos inorgânicos, resultando na solubilização de metais como cobre e ouro, que podem ser posteriormente recuperados da solução resultante. A reciclagem constante da solução nas pilhas de minério intensifica a atividade bacteriana, aumentando a eficiência do processo (Valix, 2017).

Esses microrganismos de crescimento quimiolitotrófico e aeróbicas, necessitando de oxigênio e gás carbônico em meio ácido. Esses tipos de microrganismos são utilizados nessas práticas devido a sua capacidade de se adaptar a altas concentrações de metais pesados (Bevilaqua, 2019).

Quadro 2 - Bactérias de interesse na biomineração.

Grupo	Cultura	Características
Mesófilos (20 °C a 40 °C)	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	Autótrofo, oxidante de Fe/S
	<i>Leptospirillum ferrooxidans</i>	Autótrofo, oxidante de Fe
	<i>Acidithiobacillus thiooxidans</i>	Autótrofo, oxidante de S
	<i>Ferroplasma acidiphilum</i>	Autótrofo, oxidante de Fe (Archaea)
Termófilos moderados (40 °C a 55 °C)	<i>Sulfolobus acidophilus</i>	Autótrofo/mixotrófico, oxidante de Fe/S
	<i>S. thermosulfidooxidans</i>	Autótrofo/mixotrófico, oxidante de Fe/S
	<i>Acidithiobacillus caldus</i>	Autótrofo/mixotrófico, oxidante de S
	<i>Acidimicrobium ferrooxidans</i>	Autótrofo/mixotrófico, oxidante de Fe
Termófilos extremos (Archaea) (55 °C a 85°C)	<i>Sulfolobus</i> -tipo Archaea <i>Sulfolobus metallicus</i>	Autótrofo, oxidante de Fe/S
	<i>Acidianus brierleyi</i>	Autótrofo/mixotrófico, oxidante de Fe/S

Fonte: Bevilaqua, (2019, p. 560).

Por outro lado, a bio-oxidação é utilizada como um pré-tratamento para minérios que contêm metais valiosos ocultos em minerais refratários, como a pirita. Neste caso, os microrganismos solubilizam os minerais, tornando os metais acessíveis para extração em etapas subsequentes (Valix, 2017).

A biomineração não apenas reduz os custos operacionais e de investimento, mas também minimiza o impacto ambiental da mineração, alinhando-se com as demandas por práticas mais sustentáveis na indústria (Silva, 2023).

3.1 Aporte teórico: Fundamentos da Divulgação Científica

A DC é uma atividade que tem por finalidade tornar acessível e compreensível para o público em geral conhecimentos científicos, traduzindo conceitos altamente complexos e técnico científico em uma linguagem mais acessível. Pois qualquer cidadão, independentemente do grau de formação, possa entender temas que, em condições normais, seriam compreendidos somente por especialistas em determinado campo do conhecimento ou área (Grillo, 2006).

Zamboni (1996), também coloca como função da DC decodificar o discurso para sua “linguagem-alvo”. Neste sentido, a DC promove a educação do cidadão. Esse tipo de trabalho tem sua importância por democratizar o conhecimento, não apenas pelo fato de enriquecer a formação do cidadão, mas, principalmente, por formar um ser humano mais crítico e informado (Lima; Giordan, 2021).

A DC desempenha um papel de interlocutora entre a ciência e o público e de difusora que torna compreensíveis as descobertas científicas e o significado dessas descobertas. Ela também auxilia no interesse pela ciência e fomenta o ingresso de futuras gerações nas carreiras científicas (Lima; Giordan, 2021).

Essa prática contribui para um desenvolvimento social, cultural e participativo para as pessoas, o que, na sociedade contemporânea, em um cenário onde a informação circula com rapidez, e as “fakes News” se proliferam. Informações falsas se espalharam rapidamente, levando a comportamentos prejudiciais e à desconfiança em relação à ciência (Dantas; Deccache-Maia, 2020).

A divulgação científica não apenas apresenta informações corretas, mas também confronta e desmantela mitos e desinformações, mostrando as fragilidades das pseudociências e das narrativas enganosas. Tendo por finalidade proporcionar a comunicação clara e precisa da ciência, a fim de facilitar a alfabetização científica da população (Dantas; Deccache-Maia, 2020).

Informações falsas sobre tratamentos e vacinas se espalharam rapidamente, levando a comportamentos prejudiciais e à desconfiança em relação à ciência (Dantas; Deccache-Maia, 2020). A divulgação científica não apenas apresenta informações corretas, mas também confronta e desmantela mitos e desinformações, mostrando as fragilidades das pseudociências e das narrativas enganosas (Dantas; Deccache-Maia, 2020).

Isso se dá porque o cidadão adquire a cultura científica quando as informações são postas de maneira clara, concisa, de fácil acesso e de modo a poder ser incorporada em seu cotidiano (Araújo; Caluzi; Caldeira, 2006). Atualmente compreende-se três estágios de alfabetização científica, como pode ser vista na Figura 7.

Figura 7 - Três estágios de alfabetização científica.



Fonte: Elaborado pela autora com base em Araújo, Caluzi e Caldeira, (2006, p. 19).

A representação mistificada está no primeiro estágio, tendo a ciência como uma verdade absoluta e imutável, apenas descritas por pessoas de grande intelecto e com um saber científico distorcido. Já o segundo estágio a verdade absoluta é deixado de lado, e uma construção humana e coletiva começa a surgir. No terceiro e último estágio é apresentado a representação sistêmica, que é o típico conhecimento da comunidade científica (Araújo; Caluzi; Caldeira, 2006).

Depois dos níveis de alfabetização científica, a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco), estabeleceu uma lista de diferentes modalidades de aprendizagem presentes na Figura 8.

Figura 8 - Diferentes modalidades de aprendizagem.



Fonte: Adaptado de Araújo, Caluzi e Caldeira, (2006, p. 23).

De maneira geral a aprendizagem ela é espontânea, podendo ou não ser intencional. Já a educação formal é aquela em que a transmissão de conteúdo é feita de maneira sistematizada e a educação não formal relaciona-se com os objetivos e diferentes mecanismos de forma não obrigatória (Araújo; Caluzi; Caldeira, 2006). A Unesco também organizou critérios para realizar essa diferenciação, como mostra a Figura 9.

Figura 9 - Critérios de diferenciação dos tipos de aprendizagem.

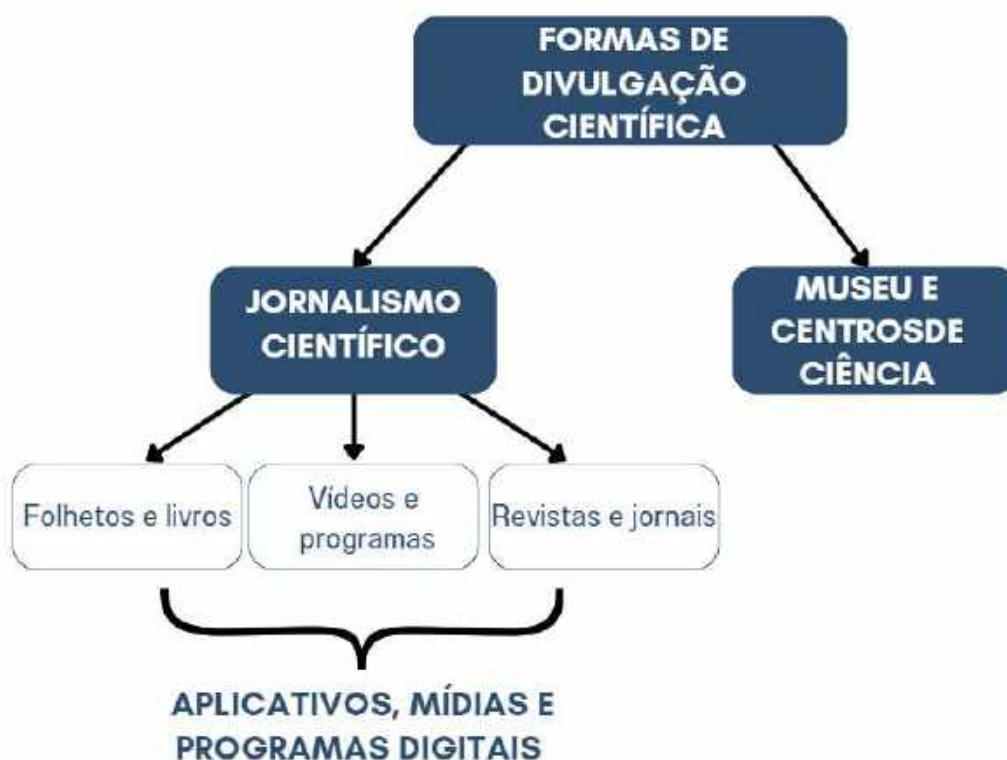
1	2	3	4	5
INTENCIONALIDADE	ORGANIZAÇÃO	ESTRUTURA INSTITUCIONAL E LOCALIZAÇÃO	PÚBLICO-ALVO	FLEXIBILIDADE
6	7	8	9	10
TEMPO	DURAÇÃO	EXIGÊNCIAS	REGISTRO	ESTRUTURA HIERÁRQUICA DE NÍVEIS DE ENSINO

Fonte: Adaptado de Araújo, Caluzi e Caldeira, (2006, p. 23, 24).

As diversas formas de DC possuem características discursivas que os tornam adequados para transmitir conceitos científicos a um público em geral. Em termos discursivos, esses textos são geralmente escritos em uma linguagem acessível, evitando jargões técnicos e complexidades que poderiam dificultar a compreensão de um público específico. Isso direciona de fato o conhecimento prévio e as precauções necessárias para difundir um material de DC (Zamboni, 1996).

Atualmente existem várias maneiras para que a DC ocorra se adequando a cada público. A era digital trouxe um novo paradigma para DC, ilustrado pela Figura 10, com a internet permitindo a comunicação instantânea. Blogs, podcasts, vídeos e redes sociais são plataformas que cientistas e divulgadores usam para interagir diretamente com o público e tornar o conhecimento científico ainda mais democratizado. Além disso, existem os museus de ciências ou espaços de ensino não formal estimulando sua curiosidade científica, além de enriquecer seu aprendizado (Freire *et al.*, 2023)

Figura 10 - Diferentes formas de divulgação científica.



Fonte: Adaptado de Albagli (1996, p. 399 – 400).

Porém, com essa variedade de formas de se divulgar a ciência, o discurso também se altera. Grillo (2015), coloca que é difícil definir o discurso da DC pela grande diversidade de esferas que ela aborda.

A autora ainda elenca que:

A noção de campo (ou de esfera) da comunicação discursiva (ou da criatividade ideológica ou da atividade humana ou da comunicação social ou da utilização da língua ou simplesmente ideologia) é compreendida como um nível específico de coerções que, sem desconsiderar a influência da instância socioeconômica, constitui as produções ideológicas, segundo a lógica particular de cada campo/esfera.

(Grillo, 2015, p. 1-2).

Então essa noção de campo/esfera é entendida como uma “diversidade de manifestações da atividade humana e de seus modos de organização em uma dada formação social” (Grillo, 2015, p. 2). Cunha (2019) e Caribé (2015) fizeram diferenciações para a destinação das informações científicas, isso pela dificuldade de se definir cada discurso, como pode ser observado pela Figura 11. Essa dificuldade é dada pelo fato da transposição da linguagem científica, sendo essa linguagem mais facilitada na divulgação científica, mas sem essa preocupação na disseminação científica, visto que cada uma contém o seu meio e público-alvo específico.

Figura 11 - Diferentes formas de difusão.



Fonte: Elaborado pela autora com base em Caribé (2015) e Cunha (2019).

Nesse contexto, identificar o público-alvo é um passo primordial para a DC porque permite que o conteúdo seja adaptado para atender às necessidades e interesses únicos de diferentes grupos. É importante levar em consideração os interesses pessoais, a faixa etária e o nível de conhecimento, para saber o nível de transposição do discurso científico a ser feito (Ferreira; Queiroz, 2012). No ensino de ciências, por exemplo, surgem os Textos de Divulgação Científica (TDC). O TDC tem como objetivo facilitar o ensino e a aprendizagem assim como os livros didáticos, lousa, dentre outros recursos utilizados (Ferreira; Queiroz, 2012).

Segundo Ferreira e Queiroz (2012), abordar TDC nas salas de aula traz alguns benefícios, como maiores informações, habilidade de leitura e interpretação, diferentes formas de argumentação e domínio da terminologia científica. Participando assim integralmente da cultura científica.

Com isso, os TDC fazem uma aproximação entre o conteúdo vivido pelo cotidiano do estudante e a alfabetização científica através do uso das características da DC e linguagem científica. Essas características são abordadas por Zamboni (2001, p. 89), como “o emprego de analogias, generalizações, aproximações, comparações, simplificações - recursos que contribuem para corporificar um estilo que vai se construir como marca de atividade de vulgarização [divulgação] científica”.

De modo com que essa linguagem científica fique mais contextualizada, Queiroz e Ferreira (2015), apontam que

Por apresentar características que podem contribuir com a formação de leitores de ciência, pode ser um recurso favorável ao processo de significação em sala de aula e, portanto, podem oferecer um caminho para uma formação mais voltada ao desenvolvimento da capacidade crítica dos estudantes, resultante de uma ruptura com o autoritarismo, que é característico nos discursos circulantes na escola e na universidade (Ferreira; Queiroz, 2015, p.154).

A introdução à educação ambiental no contexto do ensino médio busca estabelecer a importância de incluir essa temática na formação dos estudantes, conscientizando-os sobre a preservação do meio ambiente e seus desafios. As políticas públicas de educação ambiental no ensino médio têm como objetivo promover a conscientização dos estudantes sobre questões ambientais, estimular a reflexão crítica e fomentar a adoção de práticas sustentáveis (Silva, 2024).

No Brasil, a Lei nº 9.795/99, conhecida como a Política Nacional de Educação Ambiental, estabelece a obrigatoriedade do ensino de educação ambiental em todos os níveis de ensino, incluindo o ensino médio (Silva *et al.*, 2024, p.4). Além disso, o Programa Nacional de Educação Ambiental (PRONEA) tem diretrizes específicas voltadas para a inclusão da temática ambiental no currículo escolar, garantindo a abordagem de conteúdos relevantes e a participação da comunidade escolar na promoção de ações educativas (Silva, 2024).

Portanto, textos de divulgação científica sobre educação ambiental no ensino médio desempenham um papel fundamental na conscientização e na promoção de ações em prol da preservação do meio ambiente (Teodoro, 2021).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A elaboração de um material de DC que foque e dissemine os principais conceitos da mineração urbana bem como os conceitos químicos envolvidos nessa temática passa por algumas etapas gerais. A literatura da área permite a construção do material de divulgação científica, determinando características gerais e importantes para esse tipo de material. Também é possível encontrar as informações ou características que devem ser evitadas. Esses procedimentos são usados a fim de se atingir o público-alvo de forma clara e objetiva.

O trabalho apresentado se trata do desenvolvimento de um material de divulgação científica, e, portanto, não apresenta necessidade de coleta de dados. Utilizando as ferramentas metodológicas desenvolvidas por Ferreira (2011), a partir de Zamboni (1996), o trabalho visa buscar a elaboração de um TDC, considerando as características e fundamentos identificados na literatura especializada. Após saber esse arcabouço metodológico, o próximo passo se encaixa na definição de um público-alvo. Neste trabalho será abordado como público-alvo estudantes de educação básica de nível médio.

Essa definição do público-alvo se torna fundamental para se iniciar a construção do TDC, e pensar o nível da transição do discurso científico a ser feito a partir de suas habilidades com a leitura, conhecimento e compreensão de conceitos científicos, e capacidade de argumentação (Ferreira; Queiroz, 2012). Ainda, de acordo com o objetivo do TDC é possível trabalhar com diferentes níveis de cientificidade, didaticidade e laicidade (Ferreira; Queiroz, 2012). Com base na complexidade e interdisciplinaridade do tema trabalhado no TDC e o público-alvo em questão, a busca será por um material com um maior grau de didaticidade.

Nesse contexto é importante salientar que esse TDC foi direcionado para um público não-científico, ou seja, que não possui entendimento sobre o assunto. De modo que sua função será decodificar esse discurso em “um texto homogeneamente realizado na língua-alvo” (Zamboni, 1996, p. 96). Transformando o discurso especializado em um discurso de transmissão de informações (Zamboni, 1996).

Com isso, Zamboni (1996) elenca três elementos para a reformulação do discurso, sendo eles, tema, estilo e composição, como mostra a Figura 12, a partir DC.

Figura 12 - Elementos do discurso.

Fonte: adaptado de Zamboni (1996).

Com base nesses elementos, Ferreira (2011), elabora um repertório ao se produzir e analisar um TDC, partindo de dois princípios: o conteúdo e a forma, observado pela Figura 13.

Figura 13 - Categorias utilizadas para a análise dos TDC.

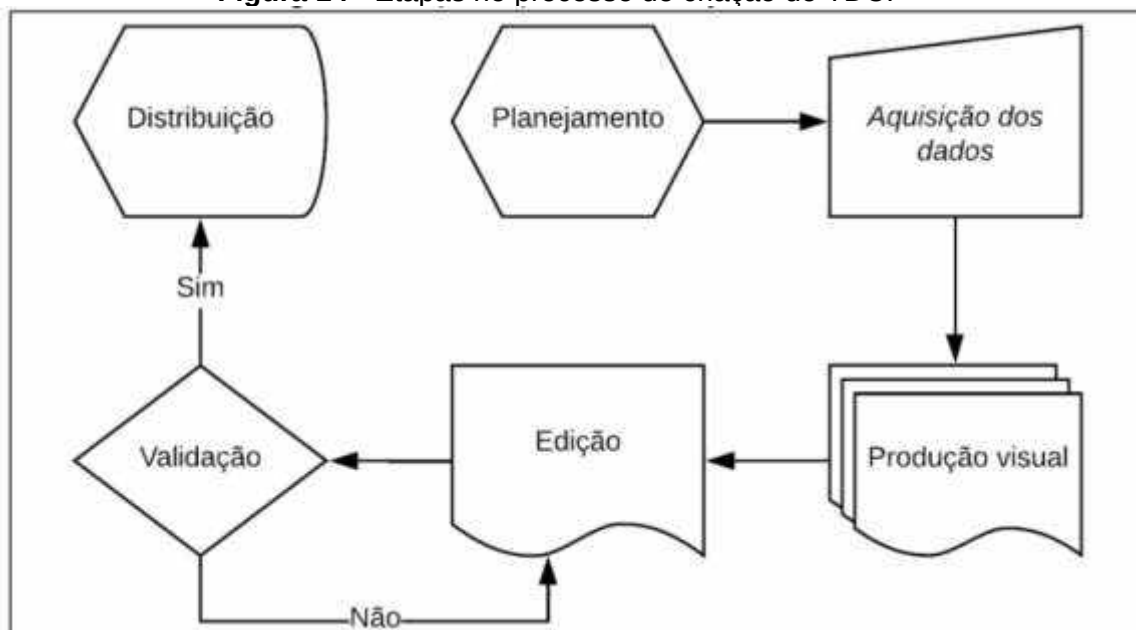
Fonte: Adaptado de Ferreira, (2011, p. 58).

Em relação à forma, tem-se a estrutura do TDC, ou seja, a forma que esse texto vai ser construído. Dando ênfase às maneiras que as informações estarão espalhadas, a clareza da linguagem e o uso correto de termos científicos mesmo em um discurso

traduzido, e o uso de ilustrações, imagens, gráficos e outros recursos visuais (Ferreira, 2011).

Tendo como base esses elementos, parte-se para o processo de criação do TDC. Sunaga e Cypriano (2021) abordam uma sequência como mostra a Figura 14.

Figura 14 - Etapas no processo de criação do TDC.



Fonte: Sunaga e Cypriano (2021, p. 25).

O planejamento é o momento em que os conteúdos são organizados de maneira clara e objetiva para e em seguida esse conteúdo seja traduzido em uma linguagem pensada para o público-alvo (Sunaga; Cypriano, 2021).

A produção visual seleciona materiais que visam auxiliar a compreensão do conteúdo. Após isso, a edição é a própria produção do texto, juntando todos os fundamentos. Por fim, a validação, na qual se é verificado consistência das informações por um profissional da área e temática escolhida, indo para a distribuição ou utilização do texto (Sunaga; Cypriano, 2021).

Porém, certos cuidados devem ser tomados ao se produzir esse tipo de material. Ao mesmo tempo que um material de DC apresenta diversos tipos de vantagens, podem ser observadas alguns tipos de armadilhas, que ao invés de ajudar, atrapalham o interesse e aquisição de conhecimento do leitor. Exemplos dessas vantagens e armadilhas são expostos na Figura 15 (Chagas; Massarani 2020).

Figura 15 - Categorias utilizadas para a análise dos TDC.



Fonte: adaptado de Chagas e Massarani (2020).

Por fim, os resultados obtidos serão sistematizados e utilizados para a elaboração do TDC sobre mineração urbana e a química dos processos para recuperação de metais, com o intuito de desmistificar conceitos e promover a sustentabilidade. Acredita-se que esse material poderá contribuir significativamente para a disseminação de conhecimentos relevantes sobre esse tema, estimulando a conscientização e ações em prol da sustentabilidade (Ferreira; Imasato; Queiroz, 2012).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do TDC elaborado, abordando suas características, elementos principais e a estrutura do texto, tendo como referência o material teórico e metodológico discutido anteriormente, a análise foi realizada com base em Ferreira e Queiroz (2011). Como o material analisado foi gerado neste trabalho, todas as citações e figuras mencionadas nesta parte estão disponíveis no Apêndice A ao final desse trabalho.

O TDC elaborado neste trabalho com o título de "Minérios do amanhã: jornada rumo a sustentabilidade" foi assinado por Melissa Maria Opini, sob a orientação da Professora Denise Bevilaqua, do Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista (UNESP).

O TDC promove uma discussão crítica sobre a necessidade de uma abordagem mais sustentável em relação ao lixo eletrônico, dando ênfase a pesquisas realizadas no Instituto de Química da UNESP sobre a recuperação de metais. Nesse sentido, o texto promove uma compreensão sobre análises químicas que podem ser utilizadas para se recuperar metais a partir de resíduos eletroeletrônicos, fazendo parte dos benefícios trazidos por Ferreira e Queiroz (2011).

Benefícios dos Textos de Divulgação Científica no Ensino de Ciências

1. Contextualização e Relevância: Os textos de DC ajudam a contextualizar o conteúdo científico, conectando-o com fenômenos do cotidiano e descobertas recentes. Isso faz com que os alunos percebam a ciência como uma disciplina viva e relevante, e não apenas como um conjunto de fatos descontextualizados.
2. Desenvolvimento de Habilidades Críticas: A leitura crítica desses textos estimula os alunos a questionarem a validade das informações apresentadas, identificarem possíveis vieses e relacionarem os dados com o conhecimento prévio. Esse processo é fundamental para o desenvolvimento de habilidades de pensamento crítico e análise.
3. Engajamento e Motivação: Textos de DC bem escritos e envolventes podem capturar a imaginação dos alunos, tornando o aprendizado mais agradável e memorável. Isso pode resultar em um maior interesse e motivação para estudar ciência.
4. Diversificação do Material Didático: A inclusão de textos de DC amplia as fontes

de informação disponíveis para os alunos, oferecendo múltiplas perspectivas sobre um mesmo tema e enriquecendo o conteúdo tradicional dos livros didáticos.

5.1 Elementos e características do TDC em relação ao conteúdo

Iniciando pela análise geral como ilustra a Figura 16, pode-se dizer que o TDC em questão se enquadra na área da Química, uma vez que este abrange conceitos, técnicas e metodologias provenientes dessa área do conhecimento. Além disso, apresenta algumas reações químicas existentes na biolixiviação feita pelos microrganismos.

Figura 16 - Análise geral sobre o TDC.



Fonte: Elaborado pela autora com base em Ferreira (2012).

A Biologia pode ser observada como um conteúdo de fronteira, presente em alguns momentos do texto, quando são retratados processos de saúde-doença e questões ambientais envolvidas de acordo com a BNCC (Brasil, 2018, p. 542). Como na oitava página em:

Metais pesados: Podem causar problemas neurológicos, danos aos rins e ao sistema imunológico, além de estarem associados a doenças crônicas.

Poluição do ar: A incineração inadequada de resíduos eletrônicos libera gases tóxicos, contribuindo para a poluição atmosférica e problemas de saúde pública.

Os temas transversais presentes no texto podem ser identificados quando este traz à tona a questão da ética e conservação ambiental, retratando o uso consumismo desenfreado e a geração de lixo, que pode causar problemas de saúde e poluição do

meio ambiente (Brasil, 1998, p.10), visto na décima página:

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.

É dada importância a esse tipo de discussão ao longo do texto, visto que analisar as questões da problemática de descarte desenfreado fornece ao estudante uma visão crítica. Essa visão auxilia no desenvolvimento moral do estudante, que consequentemente tem a capacidade de gerar valores éticos e noções de cidadania.

Com os temas classificados em conteúdo de Química, Fronteira e Temas Transversais, as próximas três seções irão discutir sobre a análise específica de cada um destes temas. A Figura 17 mostra uma breve explicação sobre cada subtópico contidos nessa análise, visando lembrá-los de seções anteriores.

Figura 17 - Análise específica sobre o TDC.



Fonte: Elaborado pela autora com base em Ferreira (2012).

5.1.1 TEMÁTICA

Neste estudo elaborado pelas autoras Ferreira e Queiroz (2011), são abordados textos de divulgação científica (DC) como recurso didático no ensino de ciências. Esses textos têm a função de transmitir conhecimentos científicos para um público leigo de maneira acessível e atraente. Eles podem servir como pontes entre a ciência complexa e o cotidiano, facilitando a compreensão e tornando o aprendizado mais relevante para os alunos.

No TDC a biolixiviação é definida como um processo biotecnológico que utiliza microrganismos, como bactérias e fungos, para extrair metais valiosos de resíduos eletrônicos. Esse processo envolve reações químicas que dissolvem metais, tornando-os solúveis e recuperáveis. Isso significa que, ao invés de serem descartados, os metais presentes nos resíduos podem ser recuperados e reutilizados.

Além disso, o texto destaca os benefícios ambientais da biolixiviação. Essa técnica contribui para a redução de resíduos eletrônicos ao permitir a recuperação de metais, como cobre. Com isso, diminui-se a quantidade de resíduos que vai para aterros, promovendo a reutilização de recursos e, conseqüentemente, ajudando a mitigar o problema do lixo eletrônico.

Outro ponto importante é que a biolixiviação é apresentada como uma alternativa mais ecológica em comparação com os métodos tradicionais de extração de metais, que costumam ser mais poluentes e energeticamente intensivos. Essa característica torna a biolixiviação uma solução mais sustentável para lidar com o lixo eletrônico.

Os TDC são materiais escritos com a finalidade de comunicar conhecimentos científicos de maneira acessível e interessante para o público em geral. Eles desempenham um papel crucial na mediação entre o conhecimento científico acadêmico e o público leigo, tornando a ciência mais compreensível e relevante para aqueles que não têm formação especializada na área (Ferreira; Queiroz, 2011).

O objetivo da revisão é investigar como os textos de DC podem ser utilizados no contexto escolar para tornar o ensino de ciências mais dinâmico e eficaz. A importância do estudo reside na identificação de práticas e estratégias que possam ser adotadas por educadores para melhorar a compreensão científica dos alunos, desenvolver habilidades críticas e fomentar o interesse pela ciência desde cedo.

Com isso a BNCC, define um conjunto de aprendizagens essenciais que os alunos devem desenvolver durante a sua formação escolar:

O Ensino Médio deve, portanto, promover a compreensão e a apropriação desse modo de “se expressar” próprio das Ciências da Natureza pelos estudantes. Isso significa, por exemplo, garantir: o uso pertinente da terminologia científica de processos e conceitos (como dissolução, oxidação, polarização, magnetização, adaptação, sustentabilidade, evolução e outros). (Brasil, 2018, 551).

E também:

Avaliar potenciais prejuízos de diferentes materiais e produtos à saúde e ao ambiente, considerando sua composição, toxicidade e

reatividade, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para o uso adequado desses materiais e produtos. (Brasil, 2018, p. 541).

Desde o começo, o TDC discute as implicações para a saúde e o meio ambiente resultantes dos danos provocados por produtos que possuem potencial tóxico. A análise da conexão entre produtos químicos e contaminação, exposta no texto, pode estimular os alunos a cultivarem um pensamento crítico sobre a utilização responsável desses compostos, alinhando-se às diretrizes da BNCC.

Dede a quarta e quinta página, dando início a discussão com perguntas engajadoras, como *“e a realidade?”*, *“Como mudar?”*. Esse tipo de pergunta continua ao longo do decorrer de todo o texto. Visto que elas são utilizadas para introduzirem um assunto com a problemática.

Como na sétima página onde a pergunta se tem como título *“Afiml, o que é resíduo eletrônico?”*, sendo usada para se seguir com a explicação e classificação desse resíduo. Já na oitava página a pergunta *“Esse resíduo pode ser um problema?”*, tem a função de se iniciar a problemática com o tema já inserido.

Na decima página é colocada a pergunta de como se pode solucionar essa problemática colocada. Seguindo de sua explicação com o resto do texto o que é realmente a parte do conteúdo químico abordado.

5.1.2 CARACTERÍSTICAS DA ATIVIDADE CIENTÍFICA

As características da atividade científica, conforme Ferreira e Queiroz (2011), incluem:

1. **Processo de Construção do Conhecimento:** A atividade científica é vista como um processo dinâmico e contínuo de construção do conhecimento, que envolve a formulação de hipóteses, a realização de experimentos e a análise de dados. Essa construção não é linear e pode ser influenciada por diversos fatores, incluindo contextos sociais e culturais.
2. **Natureza Coletiva:** A ciência é uma atividade coletiva, onde a colaboração entre cientistas é fundamental. As descobertas científicas muitas vezes resultam de esforços conjuntos e da troca de ideias entre pesquisadores.
3. **Base Empírica:** A atividade científica se fundamenta na observação e na experimentação. Os cientistas coletam dados empíricos para validar ou refutar hipóteses, o que confere à ciência um caráter verificável e testável.

4. **Revisão e Crítica:** A ciência é um campo que se baseia na revisão crítica e na autocorreção. As teorias científicas estão sempre sujeitas a revisões à luz de novas evidências, o que é um aspecto essencial do método científico.
5. **Interpretação e Contextualização:** A interpretação dos dados e a contextualização das descobertas são fundamentais para a atividade científica. Os cientistas devem considerar o contexto em que os dados foram coletados e como isso pode influenciar suas conclusões.

Essas características ressaltam a complexidade e a riqueza da atividade científica, destacando a importância de uma abordagem crítica e reflexiva no ensino de ciências, especialmente ao utilizar textos de divulgação científica. Visando colocar de modo explícito o funcionamento da ciência a partir da página quinze é colocado todo o processo envolvido na recuperação de metais por métodos biohidrometalúrgicos, trazendo uma visão clara ao leitor, como em:

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.

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.

Dessa forma, por exemplo, o texto deixa uma visão clara sobre os processos químicos feitos pela ciência sobre o tema deste TDC.

5.1.3 ABORDAGENS E CONTEXTOS

As abordagens e contextos de Textos de Divulgação Científica (TDC) no ensino de ciências, conforme o referencial são:

1. **Uso dos TDC por Professores e Alunos:** A pesquisa analítica das produções sobre o uso de TDC no ensino básico revela como esses textos são abordados e recebidos tanto por professores quanto por alunos, destacando a interação entre eles e a mediação do conhecimento.
1. **Apoio ao Ensino Formal:** Os TDC são vistos como ferramentas que podem favorecer a aprendizagem de conceitos, contribuindo para a construção de um

conhecimento abrangente e contextualizado em sala de aula. No entanto, é importante que o uso dos TDC não se limite a motivar a curiosidade, mas que busque recuperar significados mais amplos e diversificados para o ensino.

2. **Mediação entre Texto e Leitor:** Há uma necessidade de investigar como ocorre a mediação entre o texto e o leitor, especialmente no contexto do professor, e como os TDC podem ser transpostos didaticamente para o uso em contextos de ensino.
3. **Formação de Professores:** A formação de professores é um aspecto crucial, sugerindo que é necessário aprofundar as discussões sobre a incorporação didática dos TDC e preparar adequadamente os professores para seu uso em sala de aula.
4. **Interações em Sala de Aula:** O uso de TDC em uma perspectiva investigativa permite que os alunos construam juízos de valor e mobilizem conhecimentos para resolver problemas, além de promover interações sociais significativas entre alunos e professores, favorecendo a aprendizagem.

Essas abordagens destacam a importância dos TDC como recursos pedagógicos que podem enriquecer o ensino de ciências, mas também ressaltam a necessidade de uma preparação adequada e de uma mediação eficaz para que seu potencial seja plenamente realizado.

Logo no início do TDC, acontece uma junção do cenário social e político ao se fornecer dados estatísticos sobre a geração e reutilização de resíduos em diferentes continentes:

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.

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.

Juntamente com a solução o TDC ressalta que o modelo de recuperação abordado é o mais viável economicamente:

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.

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.

5.2 Elementos e características do TDC em relação à forma

Os elementos e características dos Textos de Divulgação Científica (TDC) conforme a estrutura discutida no documento incluem:

Figura 18 - Análise do TDC em relação a forma.



Fonte: Elaborado pela autora com base em Ferreira (2012).

5.2.1 ESTRUTURA

1. **Recursos Jornalísticos:** Os TDC frequentemente utilizam uma linguagem acessível e recursos típicos do jornalismo, como títulos chamativos, subtítulos e imagens, para atrair a atenção do leitor e facilitar a compreensão dos conteúdos científicos.
2. **Didática e Científica:** Os TDC combinam elementos didáticos e científicos,

buscando não apenas informar, mas também educar o leitor sobre conceitos e processos científicos. Essa combinação é essencial para tornar a ciência mais compreensível e relevante para o público em geral.

3. **Linguagem Acessível:** A linguagem utilizada nos TDC é geralmente simplificada e adaptada para o público-alvo, evitando jargões técnicos que possam dificultar a compreensão. Isso é fundamental para que o conhecimento científico seja democratizado e acessível a todos.
4. **Estrutura Narrativa:** Muitos TDC seguem uma estrutura narrativa que pode incluir a apresentação de problemas, a descrição de experimentos e a discussão de resultados, o que ajuda a contextualizar a informação e a torná-la mais envolvente para o leitor.
5. **Interatividade e Reflexão:** Os TDC podem incentivar a interatividade e a reflexão, promovendo questionamentos e discussões sobre os temas abordados. Isso é importante para estimular o pensamento crítico e a curiosidade científica nos leitores.
6. **Contextualização Social e Cultural:** Os TDC frequentemente contextualizam os temas científicos dentro de questões sociais e culturais, ajudando os leitores a entender a relevância da ciência em suas vidas e na sociedade como um todo.

Esses elementos e características são fundamentais para a eficácia dos TDC como ferramentas de ensino e aprendizagem, permitindo que eles cumpram seu papel de mediadores entre a ciência e o público.

5.2.2 LINGUAGEM

A linguagem dos Textos de Divulgação Científica (TDC) possui características específicas que a tornam adequada para o público não especializado. As principais características da linguagem dos TDC são:

1. **Acessibilidade:** A linguagem é simplificada e adaptada para facilitar a compreensão do público em geral. Isso envolve a não utilização de jargões científicos e termos técnicos complexos, tornando o conteúdo mais acessível. Os conceitos ao qual não se pode se tornar acessível de uma outra forma como biolixiviação foi devidamente explicado.
2. **Estilo Conversacional:** Os TDC frequentemente adotam um estilo mais

informal e conversacional, o que ajuda a criar uma conexão com o leitor e torna a leitura mais agradável. Essa abordagem pode incluir o uso de perguntas retóricas e exemplos do cotidiano.

3. **Narrativas Envolventes:** A utilização de narrativas e histórias é comum, pois isso ajuda a contextualizar os conceitos científicos e a torná-los mais interessantes. As narrativas podem incluir casos de estudo, experiências pessoais de cientistas ou histórias de descobertas. No caso desse TDC foi utilizado um filme popular para se poder inserir a problemática sobre o assunto.
4. **Recursos Retóricos:** Os TDC frequentemente empregam recursos retóricos, como analogias e metáforas, para explicar conceitos complexos de maneira mais compreensível. Esses recursos ajudam a criar imagens mentais que facilitam a assimilação do conteúdo. Porém deve-se tomar cuidado para não se cometer nenhum obstáculo epistemológico.
5. **Multimodalidade:** A linguagem dos TDC pode ser multimodal, incorporando elementos visuais, gráficos e tabelas que complementam o texto escrito. Isso enriquece a experiência de leitura e ajuda a ilustrar os pontos discutidos.
6. **Tom Persuasivo:** A linguagem pode ter um tom persuasivo, buscando não apenas informar, mas também convencer o leitor da importância dos temas abordados. Isso é especialmente relevante em discussões sobre questões científicas que têm implicações sociais e éticas.

Essas características da linguagem são fundamentais para o sucesso dos TDC como ferramentas de comunicação científica, permitindo que eles cumpram seu papel de informar e educar o público de maneira eficaz.

5.2.3 RECURSOS VISUAIS E TEXTUAIS

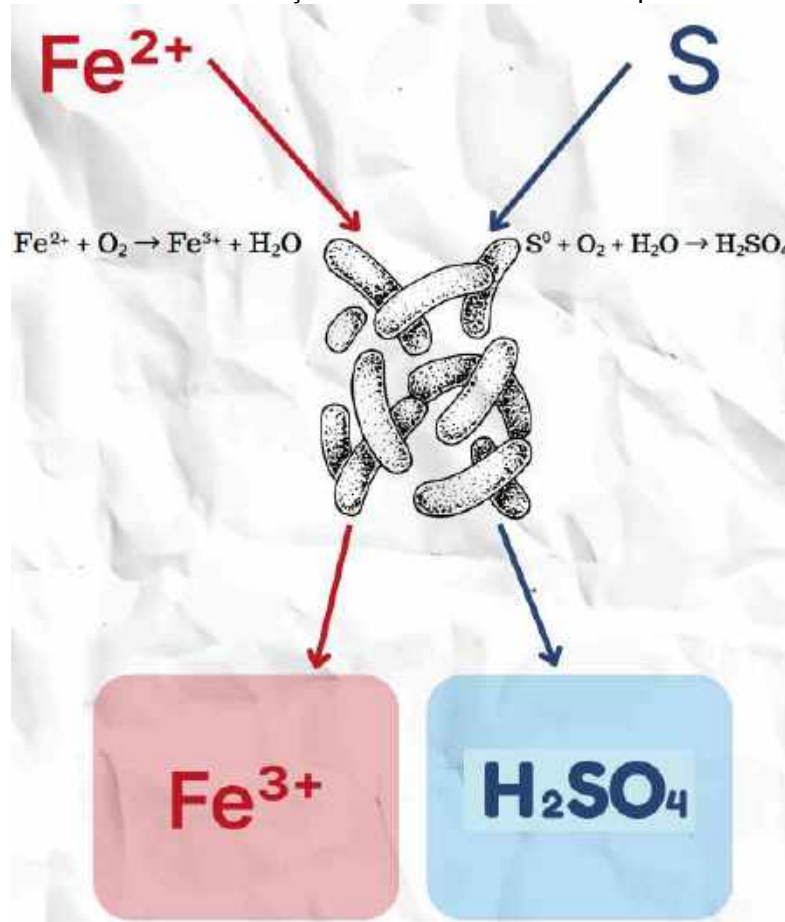
Os Textos de Divulgação Científica (TDC) utilizam uma variedade de recursos visuais e textuais para facilitar a compreensão e engajamento do leitor. As principais características desses recursos incluem:

Recursos Visuais

1. **Imagens e Ilustrações:** TDC frequentemente incorporam fotografias, ilustrações e gráficos que ajudam a visualizar conceitos complexos. Esses elementos visuais podem tornar a informação mais acessível e atraente, como

mostra a Figura 19, além de facilitar a compreensão de dados e processos científicos.

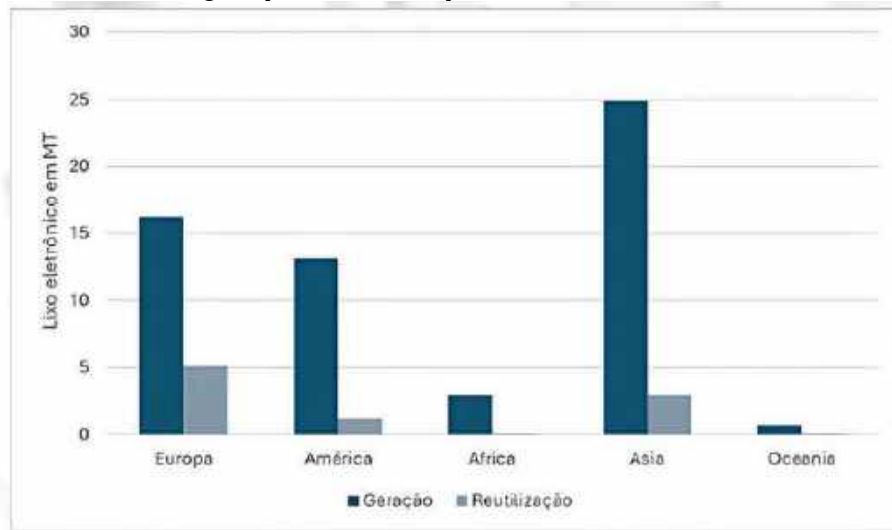
Figura 19 - Ciclo de Oxidação do Ferro e do Enxofre por bactérias.



Fonte: Elaborado pela autora com base em Valix (2017).

2. **Gráficos e Tabelas:** A utilização de gráficos e tabelas é comum para apresentar dados de forma clara e concisa. Esses recursos ajudam a resumir informações quantitativas e a destacar tendências ou comparações importantes.

Figura 20 - Gráfico sobre a geração e reutilização de resíduos eletrônicos nos continentes.



Fonte: Elaborado pela autora com base em Srivastav (2023).

3. **Diagramas:** Diagramas são frequentemente usados para explicar processos ou estruturas, como ciclos biológicos ou sistemas físicos. Eles ajudam a simplificar informações complexas e a torná-las mais compreensíveis.

Figura 21 - Ciclo do resíduo eletrônico reaproveitado.



Fonte: Elaborado pela autora com base em Srivastav, 2023.

4. **Infográficos:** Os infográficos combinam texto e elementos visuais para

apresentar informações de maneira visualmente atraente e fácil de entender. Eles são eficazes para resumir dados e destacar postos-chave de forma rápida.

Figura 22 - Infográfico de pergunta e resposta.



Fonte: Elaborado pela autora com base em Valix (2017).

Recursos Textuais

1. **Títulos e Subtítulos:** Títulos chamativos e subtítulos organizam o texto e ajudam a guiar o leitor através do conteúdo. Eles facilitam a navegação e a identificação de seções relevantes. Ao longo do texto foi utilizado perguntas como títulos.
2. **Listas e Tópicos:** O uso de listas e tópicos facilita a leitura e a assimilação de informações. Esses formatos ajudam a destacar pontos importantes e a organizar o conteúdo de maneira clara.

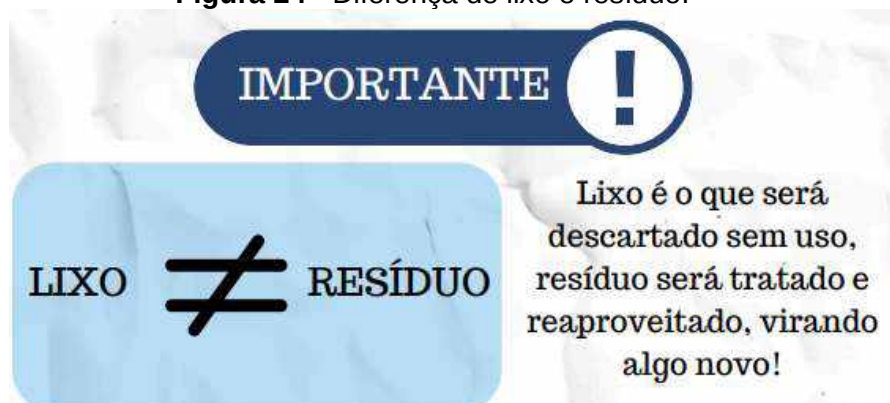
Figura 23 - Lista de tópicos sobre os benefícios da recuperação de metais.

- 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.
- 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 técnica 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.

Fonte: Elaborado pela autora com base em Srivastav (2023).

3. **Caixas de Destaque:** Caixas de destaque ou "callouts" podem ser usadas para enfatizar informações importantes, curiosidades ou definições. Esses elementos ajudam a chamar a atenção do leitor para aspectos que merecem destaque.

Figura 24 - Diferença de lixo e resíduo.



Fonte: Elaborado pela autora com base em Pinto; Malpass; Malpass, (2024).

4. **Citações e Referências:** A inclusão de citações de especialistas e referências a estudos científicos confere credibilidade ao texto. Isso é importante para estabelecer a legitimidade das informações apresentadas e para incentivar a confiança do leitor na fonte. Ao final de cada página é possível se encontrar a sua referência como mostra a Figura 25.

Figura 25 - Modelo de referência adotado no TDC.

(Srivastav et al., 2023).

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

5. **Estilo Narrativo:** O uso de um estilo narrativo, que pode incluir histórias ou exemplos práticos, torna o texto mais envolvente e ajuda a contextualizar a informação científica, facilitando a conexão emocional do leitor com o tema, como mostra a Figura 26.

Figura 26 - História em quadrinho sobre a mineração urbana.



Fonte: Elaborado pela autora com base em Pinto; Malpass; Malpass (2024).

Esses recursos visuais e textuais são fundamentais para a eficácia dos TDC, pois não apenas tornam a informação mais acessível, mas também ajudam a manter o interesse do leitor, promovendo uma melhor compreensão dos conceitos científicos

abordados.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de Textos de Divulgação Científica (TDC) no ensino de ciências revelam a importância desses materiais como ferramentas pedagógicas valiosas. A análise dos TDC demonstra que, quando utilizados de maneira adequada, eles podem enriquecer o processo de ensino-aprendizagem, promovendo uma compreensão mais profunda da ciência e suas implicações. A combinação de recursos visuais e textuais nos TDC é essencial para facilitar a compreensão de conceitos complexos. A utilização de imagens, gráficos e narrativas não apenas torna o conteúdo mais acessível, mas também engaja os alunos, estimulando seu interesse pela ciência.

Além disso, a exposição a TDC pode fomentar o desenvolvimento do pensamento crítico entre os alunos. Ao analisar diferentes abordagens e interpretações da ciência, os estudantes são incentivados a questionar, refletir e formar suas próprias opiniões sobre temas científicos, contribuindo para uma educação mais crítica e reflexiva. Os TDC têm o potencial de contextualizar a ciência dentro de realidades sociais e culturais, ajudando os alunos a entenderem a relevância da ciência em suas vidas cotidianas. Essa contextualização é fundamental para a formação de cidadãos informados e conscientes das questões científicas que afetam a sociedade.

É crucial que os educadores recebam formação adequada sobre como utilizar TDC de maneira eficaz em sala de aula. A compreensão das características e do funcionamento desses textos permitirá que os professores integrem esses recursos de forma mais estratégica, maximizando seu potencial didático. A crescente produção de pesquisas sobre o uso de TDC no ensino de ciências indica um campo em expansão que merece atenção contínua. Investigações futuras podem explorar novas metodologias, formatos e abordagens para a utilização de TDC, contribuindo para a inovação no ensino de ciências.

Apesar dos benefícios, é importante reconhecer os desafios associados ao uso de TDC, como a necessidade de uma curadoria cuidadosa do material e a formação crítica dos alunos em relação à informação científica. Superar esses desafios pode abrir novas oportunidades para a educação científica.

Em suma, os TDC representam uma ponte entre a ciência e o público, e sua utilização no ensino de ciências pode transformar a maneira como os alunos se

relacionam com o conhecimento científico. Ao promover uma abordagem crítica e contextualizada, os TDC não apenas informam, mas também educam, preparando os alunos para serem cidadãos mais conscientes e engajados em questões científicas contemporâneas.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, E. S. N. N. DE.; CALUZI, J. JOSÉ.; CALDEIRA, A. M. DE ANDRADE. **Divulgação científica e ensino de ciência:** estudos e experiências. São Paulo: Escrituras, 2006.

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.

BEYLOT, A.; VILLENEUVE, J. Assessing the national economic importance of metals: An Input–Output approach to the case of copper in France. **Resources Policy**, v. 44, p. 161–165, jun. 2015.

BRASIL, **Parâmetros Curriculares Nacionais:** terceiro e quarto ciclos: Ensino Fundamental. Brasília: MECSEF, 1998.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

BRUNNER, P. H. Urban mining a contribution to reindustrializing the city. **Journal of Industrial Ecology**, jun. 2011.

CARIBÉ, R. C. V. **Comunicação científica:** reflexões sobre o conceito. Informação & Sociedade, v. 25, n. 3, p. 89-104.

CHAGAS, C.; MASSARANI, L. **Manual de sobrevivência para divulgar a ciência e saúde**. São Paulo: SciELO – Fiocruz, 2020

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

CUNHA, M. B. **Divulgação Científica:** Diálogos com o ensino de ciências. Curitiba: Appris, 2019.

DANTAS, L. F. S.; DECCACHE-MAIA, E. Divulgação Científica no combate às Fake News em tempos de Covid-19. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e797974776, 14 jun. 2020.

DANTAS, N. S.; FONTGALLAND, I. L. Análise das Leis Ambientais Brasileiras e sua Interface com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável - ODS. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e32010414248, 9 abr. 2021.

FERREIRA, L. N.; IMASATO, H.; QUEIROZ, L. S. Textos de divulgação científica no ensino superior de química: aplicação em uma disciplina de Química Estrutural. **Educación Química**, v. 23, n. 1, p. 49–54, jan. 2012.

FERREIRA, L. N.; QUEIROZ, S. L. **Textos de Divulgação Científica no Ensino de Ciências: uma revisão**. *Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v.5, n.1, p.3-31, maio 2012. Disponível em: <http://www.periodicos.capes.gov.br/ez67.periodicos.capes.gov.br/index.php?option=com_phome>.

DUDKA, S.; ADRIANO, D. C. Environmental Impacts of Metal Ore Mining and Processing: A Review. *Journal of Environmental Quality*, v. 26, n. 3, p. 590–602, maio 1997.

FERREIRA, L. N. A. **Textos de divulgação científica para o ensino de química: características e possibilidades**. 2013. Tese (doutorado em educação em química) - Curso de Educação em Química. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

FERREIRA, L. N. A.; QUEIROZ, S. L. Artigos da revista Ciência Hoje como recurso didático no ensino de química. *Química Nova*, v. 34, n. 2, p. 354–360, 2011.

FERREIRA, P. C.; MALPASS, G. A. C.; MALPASS, P. G. R. Reciclagem de Placas de Circuito Impresso para Extração de Cobre: Uma Revisão dos Métodos Utilizados. *Revista Virtual de Química*, 2024.

FREIRE, R. P. *et al.* Linguagem Utilizada na Divulgação de Informações Públicas para o Cidadão: a Voz Silenciada da Transparência. 2023. *Revista Paraense de Contabilidade*, v. 8, n. 2, p. 1-16, 2023.

GALIETA NASCIMENTO, T.; FRANK REZENDE JUNIOR, M. **A PRODUÇÃO SOBRE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA NA ÁREA DE EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS: REFERENCIAIS TEÓRICOS E PRINCIPAIS TEMÁTICAS (The production about popular science in the science education area: theoretical background and main themes)** *Investigações em Ensino de Ciências-V15*. [s.l: s.n.].

GIESE, E. C. **Os desafios da biometalurgia frente ao crescimento das minas urbanas**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2020. (Série Estudos e Documentos, 104)

GRILLO, S. V. Divulgação científica na esfera midiática. *Intercâmbio*, v. 15, 2006.

GRILLO, S. V. DE C. **Divulgação científica: linguagens, esferas e gêneros**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 5 nov. 2015.

HE, Y. *et al.* Environmental footprint analysis of gold recycling from electronic waste: A comparative life cycle analysis. *Journal of Cleaner Production*, v. 432, 20 dez. 2023.

KORHONEN, J.; HONKASALO, A.; SEPPÄLÄ, J. Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, v. 143, p. 37–46, jan. 2018.

LIMA, G. S.; GIORDAN, M. From discursive reformulation to praxis of scientific culture: Reflections on science communication. *Historia, Ciencias, Saude* -

Manguinhos, v. 28, n. 2, p. 375–392, 1 abr. 2021.

MATOS, S. M. S.; SANTOS, A. C. Modernidade e crise ambiental: das incertezas dos riscos à responsabilidade ética. **Trans/Form/Ação**, v. 41, n. 2, p. 197–216, jun. 2018.

MARCOLIN, N. A aprovação do público-alvo. **Revista Pesquisa FAPESP**, n. 190, dez. 2011

PARREIRA, L. S. A.; GUIMARÃES, A. Q. Economia circular como alternativa sustentável: uma revisão narrativa do conceito, da sua trajetória e das suas críticas e barreiras. **RDE – Revista de Desenvolvimento Econômico**, n. 54, p. 111–135, 2023.

PINTO, C. F.; MALPASS, A. C. G.; MALPASS, G. R. P. Reciclagem de placas de circuito impresso para extração de cobre: uma revisão dos métodos utilizados

ROMA, J. C. Os objetivos de desenvolvimento do milênio e sua transição para os objetivos de desenvolvimento sustentável. **Ciência e Cultura**, v. 71, n. 1, p. 33–39, jan. 2019.

SILVA, J. G. *et al.* Biolixiviation of metals from Computer printed Circuit Boards by Acidithiobacillus ferrooxidans and Bioremoval of Metals by Mixed Culture Subjected to a Magnetic Field. **Current Microbiology**, v. 80, n. 6, p. 197, 2023.

SILVA, A. C. DA *et al.* Educação ambiental e transdisciplinaridade: ferramentas para um futuro sustentável. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, v. 22, n. 4, p. e4286, 23 abr. 2024.

SOTÉRIO, C; QUEIROZ, S. L. Estratégias de escrita para abordagem da comunicação pública da ciência na educação em química. **Química Nova**, v. 43, n. 8, p. 1163-1171, 2020.

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.

STAUS, N. L. *et al.* Measuring the long-term effects of informal science education experiences: challenges and potential solutions. **Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research**, v. 3, n. 1, dez. 2021.

SUNAGA, A. I.; CYPRIANO, E. F. As características dos textos de divulgação científica que promovem o interesse pela ciência em um público infanto juvenil. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, São Carlos (SP), n. 31, p. 21–35, 2021. DOI: 10.37156/RELEA/2021.31.021. Disponível em: <https://www.relea.ufscar.br/index.php/relea/article/view/534>.

TEODORO, V; MENEZES, J. P. C. Uso de Infográficos como ferramenta didática para o processo de tradução gênica no ensino médio em aulas relacionadas à

biologia molecular. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 26, n. 2, p. 212-233, 2021.

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.

XAVIER, L. H. *et al.* Sustainability and the circular economy: A theoretical approach focused on e-waste urban mining. **Resources Policy**, v. 74, p. 101467, dez. 2021.

XAVIER, L. H.; OTTONI, M.; ABREU, L. P. P. A comprehensive review of urban mining and the value recovery from e-waste materials. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 190, p. 106840, mar. 2023.

YAMANE, L. H.; ESPINOSA, D. C. R.; TENÓRIO, J. A. S. Biolixiviação de cobre de sucata eletrônica. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 64, n. 3, p. 327–333, set. 2011.

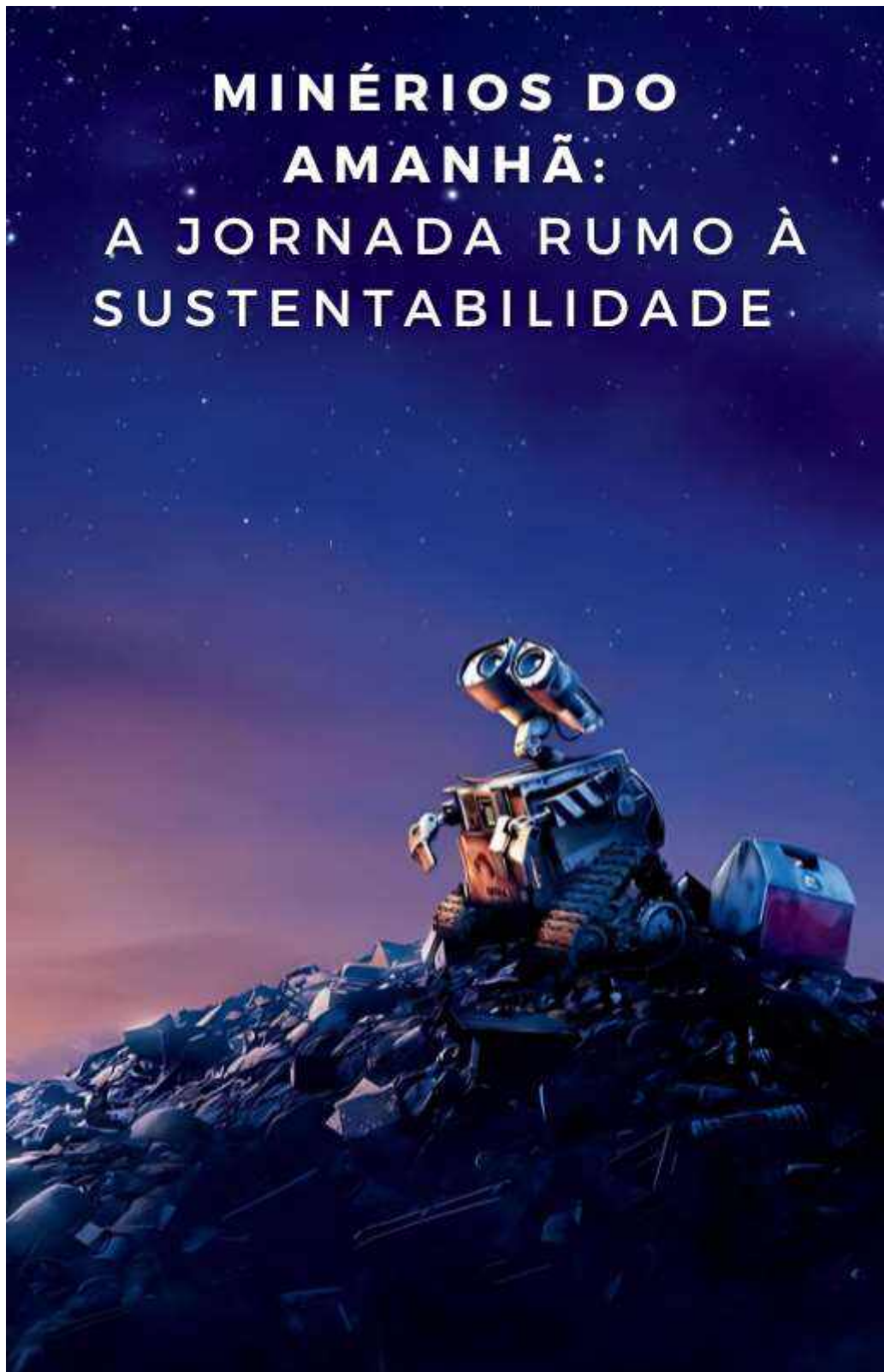
ZAMBONI, L. M. S. **Cientistas, jornalistas e a divulgação científica**: subjetividade e heterogeneidade no discurso da divulgação científica. Campinas - Unicamp: Autores Associados, 2001.

ZAMBONI, L. M. S. **Heterogeneidade e subjetividade no discurso da divulgação científica**. Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas, 27 nov. 1996.

ZHANG, L.; ZHONG, Y.; GENG, Y. A bibliometric and visual study on urban mining. **Journal of Cleaner Production**, v. 239, p. 118067, 2019.

APÊNDICE A – Texto de Divulgação Científica elaborado

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



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?.....	4
E a realidade do nosso planeta?.....	5
Como mudar?.....	5
O que é Resíduo Eletro Eletrônico?.....	7
Esse resíduo pode ser um problema?.....	8
Essas substâncias fazem mal?.....	8
Por que e como mudar?.....	10
Economia circular.....	12
Reciclagem de metais.....	13
Recuperação de Metais.....	14
Como funciona?.....	16
Biolixiviação.....	18
Metabolismo quimiolitotrófico.....	20
Resumo.....	23
Conclusão.....	24
Referências.....	25



Você conhece o wall-e?



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

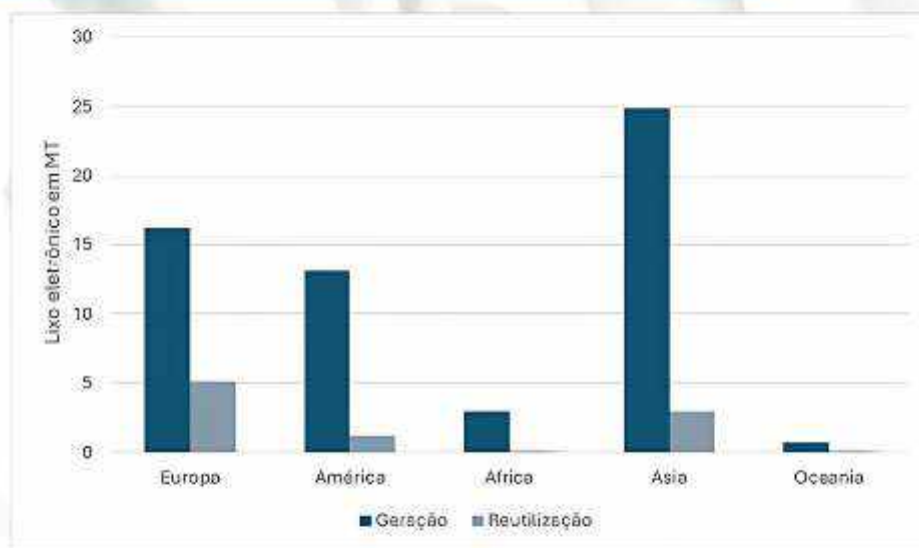
A humanidade deixou o planeta devido à poluição e ao esgotamento dos recursos naturais.

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.



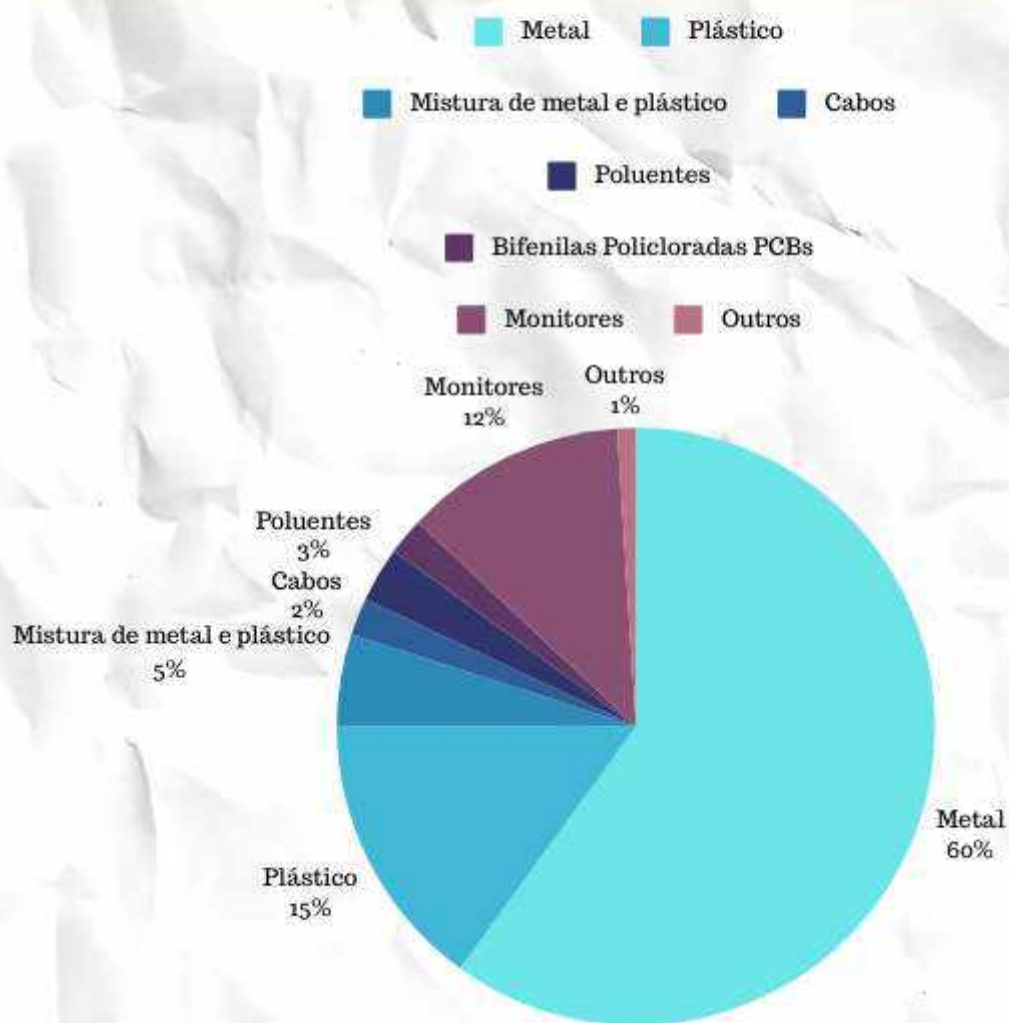
Como mudar?

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.

(Srivastav et al., 2023).

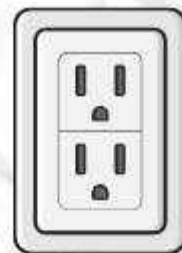
Mas, o que significa tudo isso?

O resíduo eletrônico é uma preocupação crescente devido à sua composição complexa, que pode incluir plásticos, metais pesados e alguns deles muito 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), refere-se a qualquer dispositivo elétrico ou eletrônico não funcional 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.

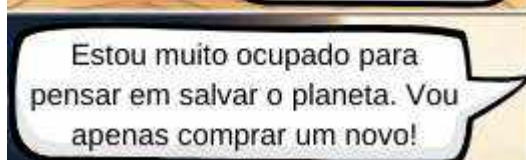
Como?

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.

(Srivastav et al., 2023).



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.



ECONOMIA CIRCULAR

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!



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 geridos.

E qual tem menos impacto?

A biomineração

(Pinto; Malpass; Malpass, 2024).

Como funciona?





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.



Elaborado pela Autora

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?**

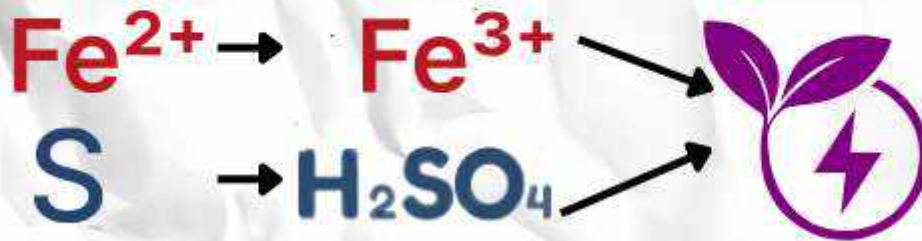


Etapas do metabolismo quimiolitotrófico.

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.

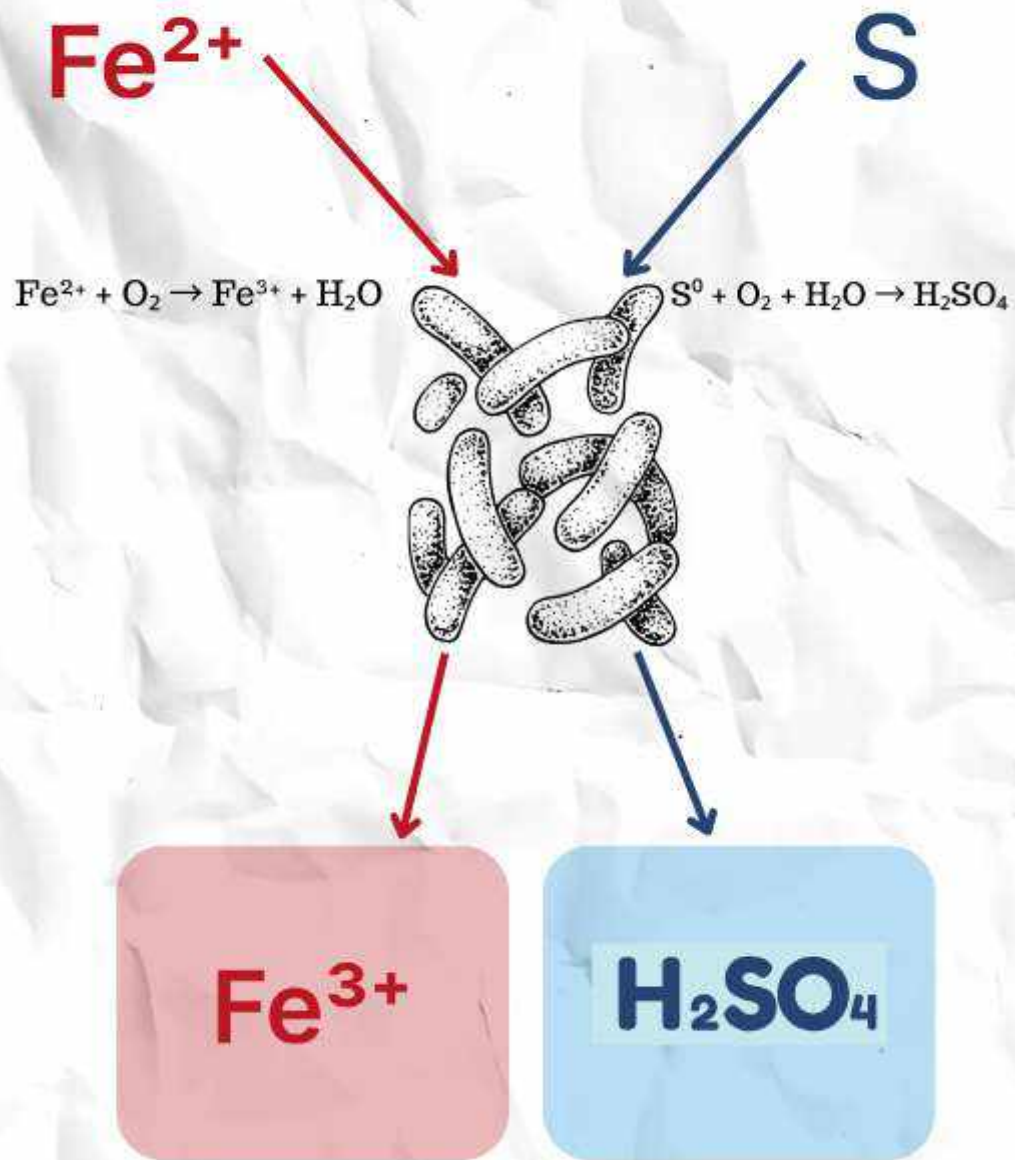
Oxidação do Enxofre (S^0 a SO_4^{2-}):

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) como subproduto.

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





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

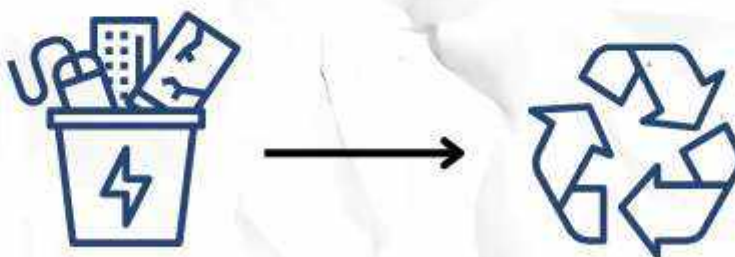
Os microrganismos promovem reações químicas que dissolvem metais, como cobre, tornando-os solúveis

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?

Elaborado pela Autora

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 ResearchSpringer 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