

ANÁLISE DA ECOTOXICIDADE DE REJEITOS SÓLIDOS DA MINERAÇÃO DE CARVÃO DO SUL DE SANTA CATARINA

Luighi Vitor Fraga Mezari¹

Morgana Nuernberg Sartor Faraco²

Resumo: A indústria carbonífera é, sem dúvidas, uma das principais atividades econômicas do sul de Santa Catarina. Entretanto, ela gera elevados percentuais de rejeitos que não são aproveitados financeiramente e que podem contaminar mananciais hídricos próximos às atividades mineradoras. Como ainda não há soluções efetivas e viáveis para a utilização destes resíduos, eles são depositados em depósitos de rejeitos das empresas mineradoras. Dessa forma, é imprescindível estudos para desenvolver meios visando a valorização de resíduos gerados pela fragmentação deste rejeito mineral. Portanto, este trabalho teve como objetivo principal avaliar a toxicidade dos rejeitos de carvão provenientes das atividades extrativas. Foram coletadas 24 amostras de rejeitos de 6 mineradoras da região, de diferentes etapas do beneficiamento do carvão. As amostras coletadas foram analisadas quimicamente por Fluorescência de raios X (FRX) para determinar sua composição química e submetidas aos ensaios de toxicidade aguda em *Artemia sp.* e teste de fitotoxicidade em *Allium Cepa L.* Os pHs das amostras foram determinados para auxiliar nas conclusões da toxicidade dos rejeitos. Os resultados permitiram demonstrar que a maioria das amostras apresentou baixo pH e elevados índices de óxidos, tais como, óxido de silício (SiO₂), alumina (Al₂O₃), enxofre (SO₃), óxido de ferro (Fe₂O₃), óxido de cálcio (CaO) e potássio (K₂O). Sendo assim, grande parte das amostras se mostraram tóxicas quando submetidos aos testes supramencionados. As amostras C, E, L, S, T e X apresentaram atoxicidade quando submetidos aos testes com *Allium Cepa L.* Entretanto, quando destinadas ao teste com *Artemia sp.* somente a amostra T apresentou resultados atóxicos. Esses resultados mostraram que os resíduos apresentam elevada toxicidade, o que gerou expressiva mortalidade dos microcrustáceos. Em ambos os testes foram realizados testes negativos com água destilada, com a finalidade de proporcionar maior comparação e confiabilidade.

Palavras-Chave: Rejeito. pH. Toxicidade. Carvão Mineral. Beneficiamento do Carvão.

¹ Graduando em Engenharia Química. Ano 2021-2. E-mail: luighi_fm@hotmail.com

² Professor do Centro Universitário UniSATC E-mail: morgana.sartor@satc.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A exploração do carvão na região sul do Estado de Santa Catarina, mais conhecida como Bacia Carbonífera, possui relevância na economia e no desenvolvimento socioeconômico da região, contribuindo para a geração de empregos e de energia. Por outro lado, o carvão brasileiro possui uma grande quantidade de impurezas, e para atender aos parâmetros exigidos pelas termelétricas, o minério bruto (ROM) é subordinada a etapas de concentração, processo conhecido como beneficiamento. Entretanto, os resíduos gerados são responsáveis por sérios problemas ambientais, tais como a drenagem ácida de mina (DAM), gerando elevado custo para as empresas em seu tratamento e deposição.

É importante ressaltar que estes contaminantes se caracterizam pela elevada acidez ($\text{pH} < 3,0$) e pela concentração alta de metais, tais como, ferro, alumínio, níquel, manganês, sulfatos, além de selênio, óxidos, entre outros (KONTOPOULOS, 1998). Destruição da flora e da fauna local, poluição de aquíferos e rios, ação erosiva e a deposição dos rejeitos são algumas das consequências manifestadas pela atividade. Para reduzir os impactos ambientais associados à mineração e o beneficiamento do carvão, tem-se numerosos estudos que buscam o aproveitamento máximo energético dos rejeitos, contribuindo para o desenvolvimento de novos produtos e/ou processos.

Os efluentes originados da drenagem ácida das minas podem contaminar os mananciais hídricos e o solo das regiões próximas às jazidas onde o mineral é explorado, em decorrência da abertura de poços de mineração e de galerias, sofrendo lixiviação, necessitando de sua drenagem até a superfície para tratamento (GEREMIAS, 2008). Dessa forma, é necessário tratar a água, com a finalidade de obter uma qualidade melhor, como também, viabilizar o destino correto dos rejeitos, visto que elas podem ser depositadas inadequadamente no meio ambiente sem serem aproveitados.

O controle e minimização dos impactos ambientais das drenagens pode ser feito por vários processos, sendo os que mais têm gerado destaque atualmente são as inundações e vedação das minas subterrâneas, uso de óxidos provenientes da calcinação do rejeito para elevar o pH da solução, armazenamento subaquático de minas subterrâneas, controle migratório, entre outros (GEREMIAS, 2008).

Além dos parâmetros físico-químicos, como a determinação da composição química dos rejeitos e o pH, também é de suma importância a realização de bioensaios, como forma de obter maior confiabilidade na avaliação da toxicidade dos rejeitos.

Logo, o presente estudo se propõe a analisar a toxicidade de 24 rejeitos provenientes do beneficiamento de carvão de 6 mineradoras da região carbonífera de Santa Catarina que fornecem carvão para a termoelétrica Jorge Lacerda localizada em Capivari de Baixo/SC.

Este estudo será realizado através dos bioensaios com microcrustáceos *Artemia sp.* e *Allium cepa L.* que são amplamente difundidos, visto que ambas possuem fácil aquisição no mercado, agilidade e eficiência dos resultados. O primeiro avalia-se o número de organismos que sobreviveram aos testes, enquanto o segundo determina, principalmente, a inibição do crescimento das raízes quando expostas às amostras solubilizadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão expostas as considerações mais relevantes para a composição do presente trabalho, os quais estão disponíveis na literatura, seja por meio de artigos científicos ou de trabalhos semelhantes. Sendo assim, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre a mineração do carvão e a metodologia para analisar a ecotoxicidade de rejeitos sólidos resultantes do beneficiamento do carvão mineral.

2.1 CARVÃO MINERAL

O carvão é um combustível fóssil, originado do acúmulo de restos vegetais que se encontram em diferentes estados de conservação no meio aquático, o que impediu sua oxidação. Com o passar dos anos, esses depósitos passaram por um processo de soterramento por matéria mineral, como a areia e a argila. Isto fez com que a pressão e a temperatura sobre o material orgânico aumentassem, expelindo o oxigênio, processo chamado de carbonificação, e o hidrogênio, concentrando o carbono, o qual é a principal matéria prima do carvão (PITT, 1979).

Ao longo do tempo, a matéria orgânica sofre transformações químicas e físicas, progredindo de turfa até o antracito. Essas denominações são chamadas de “rank” ou grau de carbonificação, são classificadas de acordo com alguns parâmetros químicos (quantidade de carbono, umidade, poder calorífico) e físicos. Carvões do tipo linhito e sub-betuminosos são considerados de baixo “rank” (encontrados principalmente no Hemisfério Sul – Brasil e África), visto que são mais frágeis e de aparência fosca. Minerais com este tipo de classificação são caracterizados por um alto índice de umidade e um baixo poder calorífico. Já os carvões de elevado “rank” (localizados no Hemisfério Norte – EUA, Canadá e China) geralmente apresentam uma resistência maior, aparência vítrea e preta, além disso possuem alto teor de carbono e baixa umidade, contribuindo para um alto poder calorífico. Carvão do tipo antracito é o mineral com maior teor de carbono e poder calorífico, além de possuir o menor índice de umidade (WORLD COAL INSTITUTE, 2005).

O Distrito Carbonífero do sul do estado de Santa Catarina possui cerca de 1850 km² e situa-se entre os paralelos 28°48'25" e 28°23'54" e meridianos 49°33'38" e 49°15'11", englobando os municípios de Lauro Muller, Criciúma, Orleans, Treviso, Siderópolis, Urussanga, Forquilha, Maracajá, Içara e Araranguá. Ademais, o carvão mineral é extraído e utilizado para a geração de energia elétrica. Cerca de 92% do carvão extraído no estado de Santa Catarina é queimado em termoelétricas, ou seja, em centrais térmicas de carvão pulverizado (SIECESC, 2020). A região sul do Brasil, lugar onde estão situadas as principais jazidas de carvão, é conhecida por possuir termoelétricas em atividade, utilizando carvão como combustível.

Com o objetivo de equacionar problemas operacionais e questões ambientais em relação ao seu uso e extração, há um enorme número de pesquisas concentradas para utilizar o mineral com maior eficiência, assim como, no mapeamento e superação dos problemas ambientais relacionados ao processo de produção (WARD, 2016). Além disso, o carvão brasileiro possui alto teor de materiais inertes, conhecido como cinzas, sendo necessário, na maioria dos casos, uma etapa de beneficiamento para concentrar o carvão com finalidade de queima.

2.2 EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO

A grande parte da extração do carvão ocorre na porção sul do Brasil, tendo em vista os depósitos mais importantes do país, possuindo grande exploração em Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Dispondo de uma reserva com cerca de 32 bilhões de toneladas, esta região apresenta uma quantidade expressiva de carvão dos quais 89,2% localizam-se no Rio Grande do Sul, 10,4% em Santa Catarina e 0,4% no Paraná (MEDONÇA FILHO *et al.*, 2013).

Estima-se que a produção anual de carvão brasileiro seja de cerca de 9 milhões de toneladas, sendo caracterizado por Rio Grande do Sul, com 37%, Santa Catarina, 61,3%, seguido do Paraná, com cerca de 1,7%, possuindo ao todo um montante de R\$ 1,09 bilhão de faturamento anual com as atividades mineradoras (SIECESC, 2020).

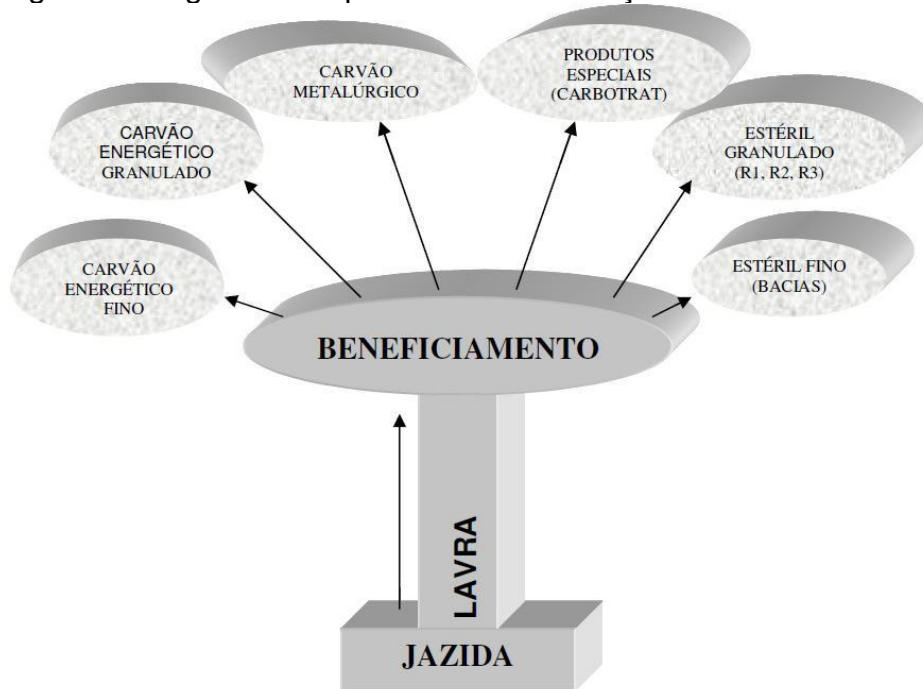
O carvão brasileiro contém alto grau de impurezas, conferindo um teor de cinzas em torno de 40% e 55% e de enxofre entre 1 e 1,25%, podendo chegar até 5,5%. Esse número pode ser explicado devido ao ambiente em que foram formados os carvões, visto que os pântanos costeiros estavam dependentes das dunas litorâneas e do mar, rico em sais dissolvidos (MONTEIRO *et al.*, 2004).

Neste contexto, para que o carvão possa ser de fato comercializável, é realizado um conjunto de operações na matéria-prima mineral bruta (do inglês *Run of Mine* ou simplesmente ROM), denominado de beneficiamento ou tratamento de minérios (ARAÚJO, 2007). A Fig. 1 apresenta um diagrama demonstrando o quanto o beneficiamento é indispensável para que a jazida tenha valor comercial. Ressalta-se, ainda, que materiais com baixo ou inexistente valor comercial também são gerados durante o processamento.

De maneira resumida, define-se o processo de concentração de carvão em duas etapas. A primeira, consiste no preparo do carvão, nas fases de cominuição ou fragmentação, por meio de britagem ou moagem, e classificação granulométrica, por meio da ciclonagem ou peneiramento, esta consiste na concentração do carvão.

Os processos de beneficiamento do carvão são classificados em dois grupos: (a) processos que utilizam a gravidade (jigagem, ciclonagem e vasos de meio denso); e (b) processos baseados em fenômenos superficiais (flotação e aglomeração oleosa) (SAMPAIO, 1983).

Figura 1: Diagrama dos produtos de mineração do carvão.



Fonte: Schneider (2006)

A concentração gravimétrica é uma das formas mais utilizadas e mais antigas para o processo de concentração do carvão mineral (SCHNEIDER, 2006). Isso se deve ao fato de que este processo apresenta uma alta taxa de capacidade de processamento, são menos influenciados pela composição da água, aliado ao baixo custo de investimento e operação, visto que não é necessário utilizar reagentes químicos no processo gravimétrico. Isso contribui para que não ocorra a influência de variações na composição química dos reagentes que se deseja delimitar, além de não se tornar obrigatório ajustar o tamanho de partícula para o processo.

Apesar de possuir uma participação de relevância na economia do país e do papel fundamental no fornecimento de energia elétrica, o carvão mineral está associado a uma série de impactos ambientais (PETERS *et al.*, 2017), visto que a principal desvantagem ao minerar é a geração de inúmeros resíduos (BIAN *et al.*, 2009).

2.3 REJEITO SÓLIDO E O IMPACTO AMBIENTAL

Uma das principais consequências ao beneficiar o carvão, é a quantidade de rejeitos produzidos. Estima-se que somente no ano de 2020, após o

beneficiamento, originou-se cerca de 4,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos, sendo desse número, em torno de 47% produzidas pelas carboníferas de Santa Catarina (SIECESC, 2020).

Efetivamente, os rejeitos da mineração, no geral, são os maiores da indústria mundial, bilhões de toneladas são produzidas anualmente, isto porque, para cada tonelada processada de carvão, *ROM*, o carvão propriamente bruto extraído da mina, especificadamente da região carbonífera de Santa Catarina, é descartado cerca de 65% de rejeitos (BELL e DONNELLY, 2006). Além disso, devido à demanda por energia elétrica, aliado ao avanço tecnológico, a extração do minério vem provocando um aumento exagerado no volume dos rejeitos.

De acordo com Alekseenko *et al.* (2017), esses depósitos de rejeitos podem desencadear uma série de impactos ambientais negativos, dentre eles, citam-se, (a) a deterioração da qualidade das águas próximas superficiais e subterrâneas; (b) contaminação dos solos, e por consequência, a vegetação desses locais também; (c) alteração do aspecto visual e nas características físicas e químicas dos locais próximos à mineração; (d) a biodiversidade pode sofrer redução; (e) a poluição do ar, gerando problemas de saúde.

Por outro lado, vale mencionar o desenvolvimento incessante para que os rejeitos, de fato, sejam destinados aos locais adequados, como em módulos de rejeitos, isto é, aterros controlados que são constituídos especialmente de materiais carbonosos e de fraco valor comercial, geralmente localizados próximo às minas (BELOLLI *et al.*, 2002). Na Fig. 2, pode-se observar um depósito adequado de rejeito, na região de Criciúma em Santa Catarina.

Entretanto, mesmo que eles sejam destinados corretamente, não se descarta a probabilidade da ocorrência de falhas e acidentes, prática ainda mais crítica, visto que o volume de sedimentos e água contaminada são liberados rapidamente para o meio ambiente, de maneira totalmente descontrolada (BIRD *et al.*, 2008).

Sob outra perspectiva, a DAM, resultado do processo do beneficiamento do carvão, possui pH extremamente baixo (entre 2,0 e 3,0), apresentando altas concentrações de ferro (Fe^{2+} e/ou Fe^{3+}), sulfato e outros metais (Al, Mn e Zn) (KONTOPOULOS, 1998). Sendo assim, a principal responsável pela contaminação

do solo e da água nas regiões próximas ao local do processo, devem ser tratadas previamente ao seu descarte para que não apresentem riscos à toxicidade da região.

Figura 2: Depósito de rejeitos de carvão na região Carbonífera/SC.



Fonte: Filho *et al.*, (2013)

Tendo em vista a eminência preocupação ambiental, especialmente no que diz respeito ao carvão mineral, se torna imprescindível o estudo de possibilidade para destinar os rejeitos de maneira correta, bem como minimizar os impactos destes sobre o meio ambiente, principalmente na vegetação local, sendo de vital importância a análise da toxicidade.

2.4 TOXICIDADE E ECOTOXICIDADE

Toxicidade é o termo denominado aos efeitos nocivos resultante das interações de substâncias químicas com um organismo. Este é um dos principais parâmetros da toxicologia, isto é, o estudo que fornece embasamento científico para avaliar os efeitos adversos dessas substâncias à saúde (PAUMGARTTEM, 1993). Além disso, a quantificação dos níveis dos principais tipos de poluentes presentes na água é uma informação importante sob o ponto de vista econômico e social (SCHLENK, 1999).

De acordo com Silva (2005), o agente tóxico ou toxicante é um indivíduo que tem a capacidade de causar danos a um ser vivo, podendo alterar gravemente alguma função ou levando-o à morte, dependendo das condições de exposição. As análises de toxicidade podem ser classificadas como agudas e crônicas, sendo

diferenciados quanto ao tempo de exposição do organismo ao contaminante e a forma de avaliação dos resultados (ADAMS *et al.*, 2002).

Mais recentemente, os programas de monitoramento de poluição ambiental incorporaram às análises físico-químicas testes biológicos que visam determinar a resposta ou o efeito de um poluente qualquer sobre os organismos expostos aos poluentes. Estes testes incluem a avaliação da toxicidade aguda utilizando organismos indicadores, além da atividade de enzimas e proteínas transportadoras. Muitos organismos são utilizados como bioindicadores em testes de toxicidade aguda. Dentre os bioindicadores empregados pode-se citar neste trabalho o uso de micro crustáceos (*Artemia salina*). Esses testes de toxicidade associados com as análises físico-químicas tornam-se importantes ferramentas na avaliação da qualidade e da toxicidade de efluentes gerados pelas indústrias (BAPTISTA, 2001).

Os testes de toxicidade aguda têm como objetivo principal avaliar o surgimento de efeitos expressivos e rápidos sobre os organismos, além da possibilidade de ser avaliado em um curto espaço de tempo (*et al.*, 2008). Resumidamente, as análises de toxicidade aguda têm por finalidade estimar a concentração ou a dose que uma certa substância poderia causar efeito tóxico a um organismo teste, em um tempo de exposição relativamente curto. (ADAMS *et al.*, 2002; ARAGÃO *et al.*, 2008).

Já os ensaios de toxicidade crônica têm a função de avaliar os efeitos subletais, os efeitos tóxicos que uma substância química pode causar em organismo em longos períodos ou durante o seu ciclo de vida, as concentrações que autorizam sua sobrevivência, porém são extremamente capazes de alterar funções biológicas importantes, como o crescimento, reprodução e o comportamento (ADAMS *et al.*, 2002; Yu, 2004).

Uma análise de toxicidade proporciona uma precisão maior na qualidade ambiental, visto que o teste permite estabelecer uma relação entre o efeito tóxico que o material ou rejeito exerce (ARIAS *et al.*, 2007). Estes ensaios utilizam metodologias para avaliar a sobrevivência de organismos-teste, e para este propósito, o uso de micro crustáceos do gênero *Artemia* tem-se mostrado eficaz, o que contribui para a sua grande utilização (NUNES *et al.*, 2006; SVENSSON *et al.*, 2005).

O uso de *Artemia sp.* em testes de toxicidade é um grande aliado às pesquisas, principalmente nas áreas de efluente de mineração do carvão, efluentes

de indústrias têxteis (SOUZA *et al.*, 2007) e efluentes de aterros sanitários (SILVA *et al.*, 2004). Dentre os benefícios na utilização da *Artemia sp.*, destacam-se o baixo custo de operação, rapidez, agilidade e simplicidade na manutenção e cultivo, tornando uma ferramenta eficiente para a avaliação da ecotoxicologia (NUNES *et al.*, 2006).

Neste contexto, organismos-teste como as bactérias, algas, micro crustáceos, peixes e minhocas, estão sendo amplamente difundidos em testes de toxicidade no Brasil. No Qd. 1, estão apresentadas algumas espécies e os tipos de ensaio, agudo ou crônico, analisados para cada organismo (COSTA *et al.*, 2008).

Quadro 1: Organismo teste, efeito e espécie aplicados em teste de toxicidade no Brasil.

Organismo	Efeito	Espécie
Bactéria	Agudo	<i>Vibrio fischeri</i> , <i>Spirillum volutans</i>
Alga	Crônico	<i>Pseudokirchneriella subcapiata</i> , <i>Chorela vulgaris</i>
Microcrustáceo	Agudo	<i>Artemia sp.</i> , <i>Daphnia magna</i>
Microcrustáceo	Crônico	<i>Ceriodaphnia dubia</i> , <i>Ceriodaphnia silvestri</i>
Oligoquetas	Agudo	<i>Eisenia andrei</i> , <i>Eisenia fetida</i>

Fonte: Adaptado de Costa (2008)

Outro organismo-teste utilizado nos testes de ecotoxicologia é a *Allium cepa L.*, mais conhecida como cebola. Estudos mostram grande êxito na avaliação da toxicidade de efluentes (ARAMBASIC *et al.*, 1995) e na avaliação do rejeito da pirita (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Segundo estudos, é um método rápido e de execução simples, que consiste em expor a base dos bulbos *Allium cepa L.* a substâncias poluentes ou nos efluentes em estudo, em determinado período (CHANDRA *et al.*, 2005).

Portanto, este trabalho tem por objetivo avaliar e realizar testes ecotoxicológicos utilizando *Allium cepa L.* e *Artemia sp.*, em rejeitos sólidos resultantes do beneficiamento do carvão, de mineradoras da região Carbonífera do Sul de Santa Catarina, com a finalidade de verificar a toxicidade desses rejeitos através dos biotestes.

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Esta seção abordará a metodologia dos ensaios realizados para a conclusão do projeto. Os ensaios foram realizados no laboratório de química da UniSATC.

3.1 LOCAIS DE COLETA DOS REJEITOS

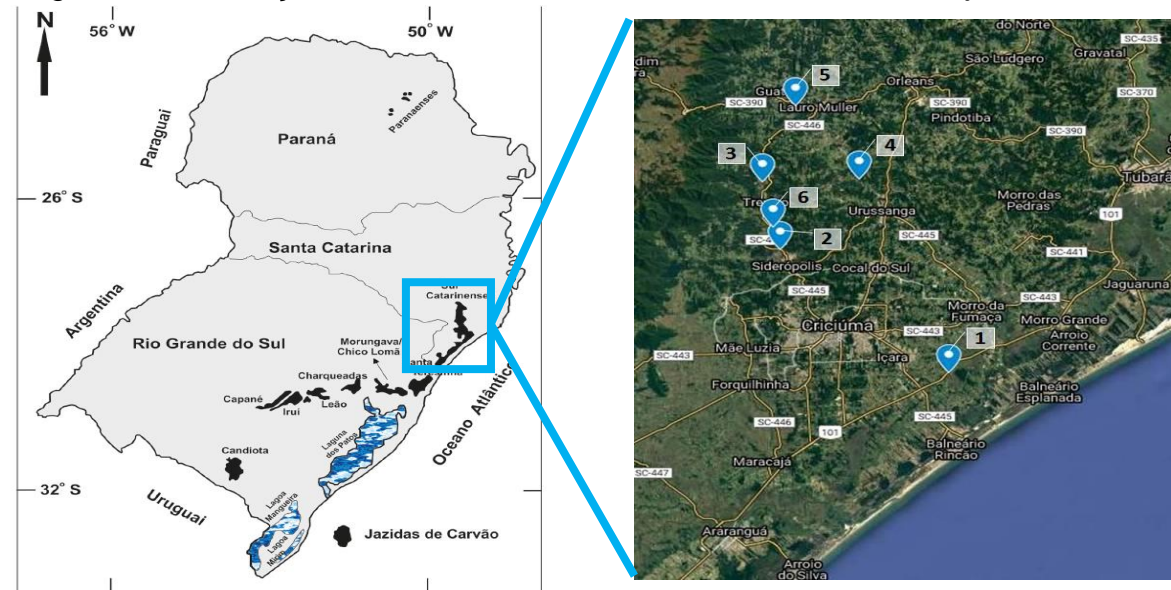
Foram coletados 24 rejeitos de etapas diferentes do beneficiamento do carvão, provenientes das carboníferas da região sul de Santa Catarina, que abastecem o Complexo Termoeletrico Jorge Lacerda, situado em Capivari de Baixo/SC, como observa-se na Fig. 3. No Qd. 2, pode-se perceber a identificação dos rejeitos da letra “A” a “X”, bem como a empresa originadora (do número “1” ao “6”, representando o montante de mineradoras) e a respectiva etapa que o originou.

Quadro 2: Dados referentes ao resíduo: o nome, a empresa e a etapa originadora.

Nome do Resíduo	Mineradora	Etapa do Beneficiamento
A	1	Meio denso
B	3	Meio denso
C	5	Meio denso
D	3	Jigue
E	3	Jigue
F	3	Meio denso e Jigue
G	2	Jigue
H	2	Jigue
I	2	Jigue
J	2	Jigue
K	2	Jigue
L	5	Jigue
M	5	Jigue
N	5	Jigue
O	6	Jigue
P	4	Mesa de Ar
Q	4	Mesa de Ar
R	4	Mesa de Ar
S	1	Ciclone
T	1	Flotação
U	2	Jigue
V	4	Britador
W	4	Ciclone
X	4	Ciclone

Fonte: Autor (2021)

Figura 3: Localização das mineradoras onde foram extraídos os rejeitos em estudo.



Fonte: Autor (2021)

3.2 PREPARAÇÃO DO SOLUBILIZADO

Em conformidade à NBR-10.006 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 02), as amostras foram secas por 3 dias a uma temperatura de até 42°C, utilizando uma estufa microprocessada de secagem (modelo Q317M-32), com a finalidade de retirar toda a umidade presente.

Após a etapa de secagem, iniciou-se a solubilização propriamente dita, em que foi acrescentado, com o auxílio de uma espátula de aço inox, 250 g da base seca do resíduo em um frasco de 1500 mL. A granulometria das amostras foi inferior a 9,5 mm, estando em conformidade à norma.

Estando a amostra em concordância, foi adicionado 1000 mL de água destilada, deionizada e isenta de orgânicos, e a agitou-se por 5 minutos manualmente. Após, mediu-se o pH das amostras com o pHmetro. Posteriormente, o frasco foi coberto com filme de policloreto de vinila (PVC) e resguardado por 7 dias, em temperatura ambiente.

3.3 TESTES COM *ALLIUM CEPA L.* COMO BIOINDICADOR DE ECOTOXICIDADE

Possuindo como base a metodologia de Fiskesjö (1998), para verificar a toxicidade do efluente em organismos vivos, um bioteste foi aplicado com *Allium cepa*

L. (cebola). Para realização deste teste, primeiramente o organismo teste foi preparado cortando a raiz que inicialmente está fixada ao prato da cebola e retirou-se o catafilo externo que estava seco.

Após a etapa de preparação, 50 mL do solubilizado foram adicionados em um tubo Falcon de 50 mL, posicionando a raiz da cebola em contato com a amostra. Em seguida, a solução permaneceu em repouso por 7 dias, em temperatura ambiente e a cada 24h foi repostado o solubilizado no tubo, devido à absorção natural da planta.

Posterior a esse período, foi realizada a contagem do número de raízes que cresceram, o comprimento da maior raiz, com o auxílio do paquímetro, e a determinação da massa da biomassa das raízes, utilizando a balança analítica. Para o controle negativo foi utilizada água deionizada, com o objetivo de realizar a comparação quantitativa. Na Fig. 4 observa-se a *Allium cepa L.* em contato com o solubilizado, em tubos Falcon de 50 mL.

Figura 4: Biotestes com *Allium cepa L.* em tubos Falcon.



Fonte: Autor (2021)

É importante ressaltar que para cada rejeito de carvão foi testado 5 amostras, com a finalidade de obter maior confiabilidade dos resultados, o que resultou em um total de 120 amostras.

3.4 TESTES COM *ARTEMIA SP.* COMO BIOINDICADOR DE ECOTOXICIDADE

O ensaio de toxicidade aguda em *Artemia sp.* foi executado de acordo com Meyer *et al.*, (1982), com algumas modificações. Primeiramente, realizou-se a ativação do organismo adicionando em um Erlenmeyer de 250 mL, 100 mL da solução

salina de 0,9% (0,9 de sal marinho em 100 mL de água). Em seguida, foi adicionado 5 g de ovos de *Artemia sp.*, com injeção de ar e enrolado em papel alumínio para impedir a passagem de luz com a finalidade da *Artemia* eclodir.

Após a ativação do organismo, 3 mL da solução (sal marinho em uma concentração de 0,9% nas amostras) foi transferida para o poço da placa. Em seguida, com o auxílio da pipeta, adicionou-se 1 mL da solução de *Artemia sp.* nos poços. Na Fig. 5 pode-se verificar poços de placas com *Artemia sp.*, em ensaios de ecotoxicidade.

Figura 5: Ensaio de ecotoxicidade em poços de placas com *Artemia sp.*



Fonte: Autor (2021)

As placas foram armazenadas no escuro, em temperatura ambiente, por 24h, e após, verificou-se se existiam microrganismos sobreviventes em cada poço. Para posterior comparação, foi efetuado um poço com água mineral com 0,9% de sal.

3.5 COMPOSIÇÃO QUÍMICA POR MEIO DA FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

Por meio da Fluorescência de raio X (FRX) determinou-se a composição química dos rejeitos coletados. O teste submetido foi realizado no LABSATC, e teve como objetivo proporcionar a análise mais aprofundada dos materiais em estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados que foram obtidos no procedimento experimental citado na seção anterior.

4.1 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

Os resultados obtidos na avaliação do pH dos solubilizados das amostras dos rejeitos coletados, estão demonstrados na Tab. 1.

Tabela 1: Dados do pH dos resíduos.

Nome do Resíduo	pH
A	3,17
B	4,13
C	3,8
D	5,22
E	6,25
F	2,37
G	2,26
H	2,48
I	1,61
J	2,4
K	2,1
L	7,76
M	2,88
N	2,65
O	3,35
P	1,49
Q	2,07
R	1,25
S	7,44
T	7,31
U	1,9
V	1,75
W	2,23
X	8,23
H ₂ O	7,43

Fonte: Autor (2021)

Foi possível constatar que as amostras majoritariamente apresentaram baixos valores de pH, o que leva a uma solubilização de metais pesados. Esse comportamento também foi descrito de uma forma similar na literatura em águas de rios localizados na região de Criciúma – Santa Catarina, atingidas por resíduos de mineração de carvão (FREITAS *et al.*, 2011).

No passado, na Bacia Carbonífera de Santa Catarina, a exploração de carvão mineral era realizada com deposição desordenada de rejeitos sem proteção e barragens de rejeitos, as quais contêm principalmente ferro e manganês, constituindo-se em importantes fontes de metais pesados solubilizados formando a Drenagem Ácida de Mina – DAM, onde a água possui grande carga de acidez e pH muito baixo. (AMARAL E KREBS, 2010)

A contaminação das águas superficiais e subterrâneas nas regiões em que a mineração se faz presente, pode ser decorrente da oxidação de sulfetados, principalmente pirita (FeS_2) que, ao entrar em contato com a água e o ar, oxida-se, formando a drenagem ácida com valores de pH baixos e concentração de ferro consideráveis. Além do ferro, o alumínio e o manganês, quando presentes em minerais relacionados ao carvão, podem ser lixiviados nas drenagens (SASOWSKY *et al.*, 2000).

Sendo assim, o baixo valor de pH, juntamente com concentrações de metais nos rejeitos, podem, futuramente, serem associados à sua contaminação por resíduos gerados pela atividade mineradora, principalmente nas drenagens ácidas de mina, rejeitos carbonosos e piritosos. Portanto, é imprescindível o tratamento desse material com o objetivo de melhorar a qualidade do manancial hídrico e à possibilidade do seu uso para diferentes fins.

4.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA (FRX)

As Tab. 2 e 3 demonstram os resultados obtidos a partir da Fluorescência de raios X dos resíduos analisados.

Tabela 2: Composição química dos resíduos referentes às amostras A a L.

Óxidos constituintes	Composição química dos resíduos (% em massa)											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
SiO₂	49,62	36,36	47,16	37,88	37,48	47,57	42,45	40,50	35,54	45,27	40,28	37,35
Al₂O₃	20,82	12,74	18,00	13,41	13,86	16,83	16,93	18,14	15,73	16,93	14,93	13,77
SO₃	0,60	10,78	0,48	3,71	10,20	1,71	4,35	4,30	2,21	3,05	4,82	0,91
Fe₂O₃	6,69	8,39	11,73	18,72	12,61	10,07	8,75	9,85	16,85	5,36	7,99	18,01

CaO	1,52	6,40	0,96	2,12	5,36	1,16	2,14	2,62	1,16	1,76	2,28	2,11
K₂O	2,83	3,89	4,44	3,06	3,61	4,54	2,67	2,61	2,03	2,47	2,68	3,30
TiO₂	1,60	1,06	1,09	0,70	0,80	0,95	1,40	1,33	0,98	1,23	1,31	0,78
MgO	0,00	0,47	0,64	0,50	0,00	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,01	0,16	0,03	0,06	0,15	0,04	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,08
P₂O₅	0,00	0,11	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZrO₂	0,06	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,06	0,07	0,09	0,07	0,06	0,06
Outros	0,20	0,07	0,17	0,07	0,08	0,09	0,08	0,16	0,16	0,16	0,12	0,23
Perda ao fogo	16,04	19,54	15,25	19,75	15,68	16,47	21,15	20,4	25,23	23,68	25,5	23,39

Fonte: Autor (2021)

Tabela 3: Composição química dos resíduos referentes às amostras M a X.

Composição química dos resíduos (% em massa)												
Óxidos constituintes	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
SiO₂	44,61	47,00	39,34	29,23	40,38	8,20	36,73	48,66	43,20	49,77	40,59	47,87
Al₂O₃	20,55	23,77	15,26	14,47	17,96	3,39	16,11	22,16	17,22	22,82	17,38	22,03
SO₃	0,13	0,14	2,50	0,14	0,13	0,14	1,89	0,54	0,78	0,14	0,27	1,19
Fe₂O₃	12,76	5,96	10,67	18,32	12,54	46,68	11,28	4,17	8,54	2,87	10,11	3,20
CaO	0,35	0,43	5,04	0,07	0,00	0,08	7,65	1,43	0,66	0,00	0,24	0,97
K₂O	2,66	3,18	3,47	1,29	1,79	0,34	2,32	3,05	3,13	2,47	1,74	2,25
TiO₂	1,38	1,58	0,98	0,70	1,04	0,00	1,35	1,43	1,32	1,57	0,97	1,37
MgO	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72
MnO	0,02	0,02	0,09	0,01	0,01	0,00	0,04	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
P₂O₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZrO₂	0,06	0,04	0,00	0,05	0,05	0,01	0,05	0,05	0,05	0,08	0,05	0,06
Outros	0,15	0,22	0,18	0,08	0,09	0,12	0,23	0,19	0,18	0,19	0,16	0,13
Perda ao fogo	17,33	17,66	22,00	35,65	26,02	41,05	22,36	18,31	24,91	20,09	28,47	20,20

Fonte: Autor (2021)

A partir dos dados de composição química dos elementos (na base de óxidos), pode-se perceber que silício, alumínio, enxofre, ferro, cálcio e potássio (K₂O) são os elementos predominantes de todos os resíduos analisados.

Além disso, percebe-se a influência do Al₂O₃ e SiO₂ na composição química dos rejeitos do beneficiamento do carvão. Enquanto que o primeiro variou entre 23,77% e 3,39%, o segundo, oscilou entre 49,77% e 8,20%. Segundo Mendes (2007),

a presença do alumínio nas plantas, apesar de ser um elemento benéfico em baixas concentrações, quando submetido a altas concentrações pode se tornar tóxico e resultar na capacidade de gerar acidez no solo.

4.3 TESTES COM *ALLIUM CEPA L.*

Os resultados obtidos nos ensaios de fitotoxicidade em *Allium cepa L.* exposta aos rejeitos de carvão já especificados, bem como à água destilada (controle negativo) estão apresentados na Tab. 4. Nela, pode-se observar as médias aritméticas do número de raízes que cresceram, do comprimento da maior raiz e da biomassa delas quando expostas aos agentes.

Tabela 4: Dados referentes à fitotoxicidade em *Allium cepa L.*

Amostra	Média do Número de Raízes	Média do Comp. das Maiores Raízes (cm)	Média da Biomassa (g)
A	-	-	-
B	-	-	-
C	2,8	0,402	0,0144
D	-	-	-
E	5,2	0,384	0,045
F	-	-	-
G	-	-	-
H	-	-	-
I	-	-	-
J	-	-	-
K	-	-	-
L	24	4,936	0,49062
M	-	-	-
N	-	-	-
O	-	-	-
P	-	-	-
Q	-	-	-
R	-	-	-
S	24,4	6,088	0,482
T	26,6	5,884	0,63
U	-	-	-
V	-	-	-
W	-	-	-
X	24,8	3,9	0,566
H ₂ O	25	5,034	0,32702

Fonte: Autor (2021)

Analisando os resultados, é possível observar que houve significativa inibição do crescimento das raízes de *A. cepa* expostas aos rejeitos de carvão. Segundo Daniels (1995), a diminuição do pH afeta o crescimento vegetal devido à

presença de metais como ferro, alumínio e manganês, o que contribuiu para que aproximadamente 70% das amostras não se desenvolvesse.

De acordo com Borges *et al.* (2012), o efeito fitotóxico de inibição do crescimento das raízes está relacionado à capacidade dos metais poderem ser retidos pela planta e pela interação com sítios exclusivos localizados na parede celular, na membrana plasmática e no núcleo celular. Uma consequência do acúmulo de metais é o desencadeamento de várias alterações fisiológicas, bioquímicas e moleculares na célula. Esses efeitos poderiam trazer como consequência a inibição do crescimento de tecidos da planta, incluindo-se os das raízes (Ledislav *et al.*, 2006; Glińska *et al.*, 2007).

Portanto, a partir dos resultados obtidos na avaliação dos parâmetros físico-químicos (pH e FRX) e nos bioensaios com *Allium Cepa L.*, é possível sugerir que os rejeitos, se não forem devidamente tratados, estão sujeitos à contaminação dos mananciais hídricos localizados próximos às jazidas de exploração e deposição.

4.4 TESTES COM *ARTEMIA SP.*

Nos ensaios com microcrustáceos, observou-se que os rejeitos de carvão analisados provocaram expressiva toxicidade aguda em *Artemia sp.* Após os testes, somente duas amostras obtiveram taxa de mortalidade 0%, ou seja, sobreviveram; a amostra T e o controle negativo com água deionizada, demonstrando a não toxicidade do material neste teste. O restante das amostras dos rejeitos não obtiveram sobrevivência quando expostos aos microcrustáceos.

A maioria dos resultados coincidem com a literatura (GEREMIAS *et al.*, 2003), onde há referências de letalidade em *Artemia sp.* quando expostas à drenagem ácida de mina de subsolo, a efluentes de mineração de carvão em bacias de decantação, bem como a águas de rio atingidas por efluentes da atividade mineradora de carvão, sendo sugerido que a toxicidade seria decorrente dos baixos valores de pH e/ou da presença de íons de metais como Fe, Mn, Cu, e Pb nas amostras.

De acordo com Ridge e Seif (1998), ambientes aquáticos de pH baixo e de alta concentração de metais pesados podem desencadear distúrbios respiratório, osmorregulatório, processos mutagênicos e cancerígenos e até a morte da biota exposta. Assim sendo, o elevado efeito tóxico observado no microcrustáceo exposto

aos rejeitos de carvão provenientes de algumas etapas do beneficiamento do carvão, poderiam estar associadas a esses parâmetros, conforme analisado nas Tabelas 6 e 7.

Entretanto, quando compara-se as Tabelas 1, 2 e 3 pode-se perceber que alguns rejeitos com pH básicos obtiveram taxa de mortalidade 100%, ou seja, os microorganismo não sobreviveram. É o que ocorre com as amostras L, S, e X, os quais apresentaram pH 7,76, 7,44 e 8,23, respectivamente. Porém, como já supramencionado, o valor do pH para toxicidade aguda em *Artemia sp.* é importante, porém não único, precisa-se, ainda, levar em consideração os metais que caracterizam cada rejeito. Possuindo como base a Tabela 7, a amostra L possui elevados teores de ferro, bem como a amostra S de enxofre, assim como a amostra X de magnésio, o que afeta substancialmente o microcrustáceo.

Além disso, cabe ressaltar que a *Artemia sp.* é um bioteste de muita fragilidade, sendo facilmente impactado pela temperatura do ambiente, luminosidade, tempo e taxa de eclosão dos ovos, água utilizada no teste, contaminação de vidrarias e das substâncias. Por conseguinte, seriam necessários estudos mais aprofundados na determinação da toxicidade dos rejeitos analisados em microcrustáceos.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que a maioria das amostras de rejeitos de carvão analisadas apresentaram baixo valor de pH, o que segundo referências indicam a possibilidade da presença elevada de íons de metais de alumínio, ferro, cálcio, silício e enxofre, bem como a capacidade de promover toxicidade aguda em *Artemia sp.* e da fitotoxicidade em *Allium cepa L.*

A toxicidade do rejeitos de carvão mostrou-se elevada para os vegetais, causando uma significativa redução no crescimento das raízes de cebolas expostas. Além disso, os resultados dos dois testes mostraram-se similares. Entretanto, no teste com *Artemia sp.*, observou-se maior fragilidade dos organismos testados. Ademais, para que os rejeitos analisados sejam destinados aos locais adequados, é imprescindível que eles sejam devidamente tratados, com pH próximos da neutralidade, assim como menores teores de certos metais, com o objetivo de não serem associados à contaminação da drenagem ácida de mina, por exemplo.

O tema deste trabalho é de fundamental importância para as indústrias mineradoras, para assim, não gerar danos ambientais em virtude do mau gerenciamento de seus rejeitos.

REFERÊNCIAS

ADAMS, W.J.; ROWLAND, C.D. **Aquatic Toxicology Test Methods**. In HOFFMAN, D.J.; RATTNER, B.A.; BURTON Jr, G.A.; CAIRNS Jr, J. Handbook of Ecotoxicology, Washington, D.C.: Lewis Publishers. 2.ed. p. 32 – 58, 2002.

ALEKSEENKO, V.; BECH, J.; ALEKSEENKO, A.; SHVYDKAYA, N.; ROCA, N. **Environmental impact of disposal of coal mining wastes on soils and plants in the Rostov Region, Russia**. Journal of Geochemical Exploration, 2017.

AMARAL, J. E.; KREBS, A. S. **Drenagem Ácida Da Mineração De Carvão E Sua Interrelação Com Metais Pesados E Recarga De Aquíferos Na Bacia Carbonífera Do Estado De Santa Catarina**. XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 2010.

ARAGÃO, M. A.; ARAÚJO, R.P.A. Métodos de ensaios de toxicidade com organismos aquáticos. In ZAGATTO, P.A.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia Aquática: Princípios e Aplicações**, São Carlos, São Paulo: Rima, 2008. p. 117 – 147.

ARAMBASIC, M. B.; BJELIC, S.; SUBAKOV, G. **Acute toxicity of heavy metals (copper, lead, zinc), phenol and sodium on Allium cepa L., Lepidium sativum L. and Daphnia magna St.: comparative investigation and the practical applications**. Water Research, v. 29, n. 2, p. 497-503, 1995. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/004313549400178A>> Acesso em: 15 abr. 2021.

ARAÚJO, A.C. **Introdução ao tratamento de Minérios**. Belo Horizonte: editora UFMG, cap 1., p.11-16, 2007.

ARIAS, A.; BUSS D.; ALBURQUERQUE C.; INÁCIO A.; FREIRE M.; EGLER M.; MUGNAI R.; BAPTISTA D. **Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos**. Ciência & Saúde Coletiva, v. 12, n. 1, p. 61-72, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, p. 2. 2004. Disponível em: <<http://licenciadorambiental.com.br/wpcontent/uploads/2015/01/NBR-10.006-Solubiliza%C3%A7%C3%A3o-de-Res%C3%ADduos.pdf>> Acesso em: 10 mai. 2021.

BAPTISTA, I. E. **Avaliação da toxicidade de efluentes gerados em uma indústria têxtil catarinense**. 2001. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BELL, Fred G.; DONNELLY, Laurance J. **Mining and its Impact on the Environment**. CRC Press, 2006. Disponível em:

<<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=5UpZDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Mining+and+its+Impact+on+the+Environment+&ots=C2g1U8YO3r&sig=Thvd8OZwSjJWwqy8zQNI68TIEKw#v=onepage&q=Mining%20and%20its%20Impact%20on%20the%20Environment&f=false>> Acesso em: 21 abr. 2021.

BELOLLI, M.; QUADROS, A.; GUIDI A. **História do Carvão de Santa Catarina**. Criciúma: Imprensa Oficial do Estado de Santa Catarina, 300 p., 2002.

BIAN, Z; JIHONG, D.; SHAOGANG L.; HAILONG L.; SHOUGUO M.; HUI W. **The impact of disposal and treatment of coal mining wastes on environment and farmland**. Environmental Geology, v. 58, n. 3, p. 625-634, 2009.

BIRD, G.; BREWER, P.; MACKLIN, M.; BALTEANU, D. **River system recovery following the Novaț-Roșu tailings dam failure, Maramureș County, Romania**. Applied Geochemistry, v. 23, n. 12, p. 3498- 3518, 2008.

BORGES, A. B; RONCHI H.; FERNANDES T.; PICH C.; GEREMIAS R. 2012. **Utilização de rejeito carbonoso calcinado para o tratamento de águas atingidas por contaminantes da mineração do carvão**. Revista de Ciências Ambientais. p 19 – 31.

CHANDRA, S; CHAUHAN, L.; MURTHY R.; SAXENA, P.; PANDE, P.; GUPTA, S. **Comparative biomonitoring of leachates from hazardous solid waste of two industries using Allium test**. Science of Total Environmental, v. 347, p. 46-52, 2005.

Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969705000069>> Acesso em: 19 abr. 2021.

COSTA, C.R.; OLIVI, P.A.; BOTTA, C.M.R.; ESPÍNDOLA, E.L.G. **A Toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação**. Revisão. Quím. Nova, v. 31, n.7, p. 1820-1830, 2008. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/qn/a/X6sRQb5cdDnHxgPJvZR33PN/?lang=pt>> Acesso em: 18 abr. 2021.

DANIELS, W.L. **Manipulating the chemical properties of soil and mining wastes**.

Proc. 25º Congresso Brasileiro de Solo Sci. 1995. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/338698758_Manipulating_the_chemical_properties_of_mine_soils_and_mining_wastes> Acesso em: 21 abr. 2021.

GEREMIAS, R.; LAUS, R.; MACAN, J.M; PEDROSA, R.C; LARANJEIRA, M.C.M; SILVANO, J.; FAVERE, V.T. **Use of Coal Mining Waste for the Removal of Acidity and Metal Ions Al (III), Fe (III) And Mn (II) in Acid Mine Drainage**. Environmental Technology, Vol. 29. pp 863 - 86, 2008. Disponível em:

<<https://iahr.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593330802015409?journalCode=ten20>> Acesso em: 17 abr. 2021.

GLIŃSKA, S.; BARTCZAK, M.; OLEKSIK, S.; WOLSKA, A.; GABARA, B.; POSMYK, M.; JANAS, K. 2007. **Effects of anthocyanin-rich extract from red cabbage leaves on meristematic cells of *Allium cepa* L. roots treated with heavy metals.** *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 68(3):343-350.

FILHO, J.; SCHNEIDER, I.; BRUM, I.; SAMPAIO, C. **Characterization of a coal tailing deposit for integrated mine waste management in the Brazilian coal field of Santa Catarina.** *Revista Escola de Minas*, v. 66, n. 3, p. 347-353, 2013.

FISKESJÖ G. **The *Allium* test – an alternative in environmental studies: the relative toxicity of metal ions.** *Mutat. Res.* 197 (1988) 243–260.

FREITAS, A. P. P.; SCHNEIDER, I. A. H.; SCHWARTZBOLD, A. 2011. **Biosorption of heavy metals by algal communities in water streams affected by the acid mine drainage in the coal mining region of Santa Catarina state, Brazil.** *Miner. Eng.*, 24(11):1215-1218.

KONTOPOULOS, A. Acid mine drainage control. In: CASTRO, S.H. et alii. (Eds.). **Effluent treatment in the mining industry.** Chile: University of Concepción, 1998. p. 57-118.

LEDISLAV, T.; HUTTOVÁ, J.; MISTRÍK, I.; SIMONOVICOVÁ, M.; SIROKÁ, B. 2006. **Aluminum-induced drought and oxidative stress in barley roots.** *J. Plant Physiol.*, 163(7):781-784.

MENDES, A. M. S. 2007. **Introdução a fertilidade do solo.** Departamento de Solos da UFV.

MENDONÇA FILHO, J. G.; SOMMER, M.G.; KLEPZIG, M.C.; MENDONÇA, J.O.; SILVA, T.F.; KERN, M.L.; MENEZES, T.R.; JASPER, A.; SILVA, M.C.; SANTOS, L.G.C. **Permian carbonaceous rocks from the Bonito Coalfield, Santa Catarina, Brazil: organic facies approaches.** *International Journal of Coal Geology*, vol. 111, p. 23-36. 2013.

MONTEIRO, K.V. (Coordenadora Geral). **Carvão: O Combustível de Ontem geral.** Porto Alegre: Núcleo Amigos da Terra Brasil, 2004.

MEYER, B. N., FERRIGNI, N. R., PUTNAM, J. E., JACOBSEN, L. B., NICHOLS, D. E. & MCLAUGHLIN, J. L. 1982. **Brine shrimp: A convenient general bioassay for active plant constituents.** *Planta Med*, 45: 31-34. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/David-Nichols-9/publication/51380045_Brine_Shrimp_A_Convenient_General_Bioassay_for_Active_Plant_Constituents/links/09e415148b8347c9e6000000/Brine-Shrimp-A-Convenient-General-Bioassay-for-Active-Plant-Constituents.pdf> Acesso em: 15 mai. 2021.

NUNES, B. S.; CARVALHO, F.; GUILHERMINO, L.; VAN STAPPEN, G. **Use of the genus *Artemia* in ecotoxicity testing.** *Environmental Pollution*, v. 144, n. 2, p. 453-462, 2006. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749106000637>> Acesso em: 14 mai. 2021.

OLIVEIRA, C. M.; MULLER, G.; FERREIRA, P.; CECHINEL, P.; PETERSON, M.; RAUPP-PEREIRA, F. **Valorization of iron pyrite from coal mining in southern Brazil**. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2019.

PAUMGARTTEN, F. J. R. **Risk Assessment for Chemical Substances: The Link Between Toxicology and Public Health**. Cad. Saúde Públ., Rio de Janeiro, v. 9 n. 4, p. 439-447, oct/dec, 1993.

PETERS, G. P.; ANDREW, R.; CANADELL, J.; FUSS, S.; RB JACKSON, R.; KORSBAKKEN, J.; QUÉRÉ, C.; NAKICENOVIC, N. **Key indicators to track current progress and future ambition of the Paris Agreement**. Nature Climate Change, v. 7, p. 118–112, 2017. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/nclimate3202>> Acesso em: 13 abr. 2021.

PINHEIRO, H. S. **Formulação e caracterização de peças cerâmicas fabricadas a partir do rejeito do granito asa branca com adição dos produtos da combustão do carvão mineral**. 2016. 100f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Curso de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Ceará, Ceará. 2016.

PITT, G. J.; MILLWARD, G. R. **Coal and Modern Coal Processing an Introduction**. Ed. Academic Press, p 210, 1979.

QUEIROZ, A.; KUROSAWA, R.; BARRETO, R. **Manual de Difração de Raios-X**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Física de São Carlos/ Laboratório Avançado de Física Computacional, 2016. 34 p.

RIDGE, T.; SEIF, J. M. 1998. **Coal mine drainage prediction and pollution prevention in Pennsylvania**. Pennsylvania: Pennsylvania Department of Environmental Protection, 398 p.

SAMPAIO, C.H. **Caracterização para o beneficiamento do carvão candiota**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. P. 208, 1983.

SASOWSKY, I. D.; FOOS, A.; MILLER, C. M. 2000. **Lithic controls on the removal of iron and remediation of acidic mine drainage**. Water Res., 34(10):2742- 2746.

SCHLENK, D. 1999. **Necessity of defining biomarkers for use in ecological risk assessments**. Mar. Poll. Bull. 39(1–12): 48–53.

SCHNEIDER, C.H. **Controle da drenagem ácida de minas na mineração de carvão de Santa Catarina: caso da Mina UM II - Verdinho**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Minas, Metalúrgica e

de Materiais – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, p. 128. 2006. Disponível em:

<<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/12556>> Acesso em: 23 abr. 2021.

SIECESC, S. DA INDÚSTRIA DE EXTRAÇÃO DE CARVÃO DO ESTADO DE S. C. **Carvão mineral: dados estatísticos** - Ano 2020. Disponível em: <https://www.siecesc.com.br/pdf/dados_estatisticos_ano_2020.pdf> Acesso em: 28 abr. 2021.

SILVA, A. C.; SANTANNA JR., G. L.; DEZOTTI, M. **Treatment and Detoxification of a Sanitary Landfill Leachate**. Chemosphere, v. 55, n. 2, p. 207-214, 2004. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653503010014>> Acesso em: 03 mai. 2021.

SILVA, D. C. da. **Efeitos Tóxicos E Genéticos Ocasionados Por Agrotóxicos**. 56 f. Monografia (Especialização em Gestão de Recursos Naturais) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2005.

SOUZA, S. M. A. G. U.; FORGIARINI, E.; SOUZA, A. A. U. **Toxicity of textile dyes and their degradation by the enzyme horseradish peroxidase (HRP)**. Journal of Hazardous Materials, v.147, n. 3, p. 1073-1078, 2007. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389407008412>> Acesso em: 08 mai. 2021.

SVENSSON, B.; MATHIASSEN L.; BERGSTROM S. **Artemia salina as test organism for assessment of acute toxicity of leachatewater from landfills**. Environmental Monitoring and Assessment, v. 102, n. 1, p. 309-321, 2005.

WARD, C. R. **Analysis, origin and significance of mineral matter in coal: an updated review**. Internacional Journal of Coal Geology, v. 165, p 1-27, 2016. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166516216303482>> Acesso em: 22 abr. 2021.

WORLD COAL INSTITUTE – WCI. **The coal resource: a comprehensive overview of coal**. World Coal Institute, Londres, Inglaterra, p 44, 2005.

YU, M-H. **Environmental Toxicology: Biological and Health Effects of Pollutans**.

Boca Raton, Florida: CRC Press, 2004. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt->

[BR&lr=&id=zMCiWZiuTJsC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Environmental+Toxicology:+Biological+and+Health+Effects+of+Pollutans&ots=o2iJRoXmXu&sig=MfknzPVM348HJQszRkWSAfqGM_4#v=onepage&q=Environmental%20Toxicology%3A%20Biological%20and%20Health%20Effects%20of%20Pollutans&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=zMCiWZiuTJsC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Environmental+Toxicology:+Biological+and+Health+Effects+of+Pollutans&ots=o2iJRoXmXu&sig=MfknzPVM348HJQszRkWSAfqGM_4#v=onepage&q=Environmental%20Toxicology%3A%20Biological%20and%20Health%20Effects%20of%20Pollutans&f=false)> Acesso em: 03 mai. 2021.