

AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE AGUDA DE RESÍDUOS DE ETAPAS DO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Roberta Kiel Pedra¹, Jéssica Dutra Ferreira², Mirna Aparecida Neves³, Cristiane dos Santos Vergílio⁴.

Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, s/nº, Guararema, Alegre-ES, CEP 29.500-000 – Alegre - ES, Brasil, roberta.pedra@edu.ufes.br, jessicadutra017@gmail.com, mirna.neves@ufes.br, cristiane.vergilio@ufes.br.

Resumo

O estudo avaliou o potencial tóxico de resíduos gerados em diferentes etapas do beneficiamento de rochas ornamentais, utilizando o microcrustáceo dulcícola *Daphnia similis* como bioindicador. As amostras foram coletadas em empresas do setor mineral em Cachoeiro de Itapemirim (ES), abrangendo resíduos decantados após o corte da rocha em tear multifios, do polimento e provenientes de aterro sanitário. Os ensaios ecotoxicológicos indicaram ausência de efeitos agudos, não sendo observada imobilidade em *D. similis*. Entretanto, verificaram-se alterações morfológicas relacionadas ao acúmulo de partículas no trato digestório, sugerindo potenciais efeitos subletais. Assim, embora não tenha sido constatada toxicidade aguda, os resultados apontam para possíveis impactos crônicos, como redução da reprodução, atraso no processo de muda e alterações celulares. Recomenda-se a realização de ensaios de toxicidade crônica e análises complementares com diferentes organismos bioindicadores. Os achados contribuem para a compreensão dos riscos ambientais associados a esses resíduos e fornecem subsídios para práticas mais sustentáveis de gestão no setor pético.

Palavras-chave: Ecotoxicologia. *Daphnia similis*. Tear multifios. Polimento. Aterro.

Área do Conhecimento: Ciências Biológicas - Ecologia.

Introdução

Os materiais pétreos apresentam ampla versatilidade de uso, podendo ser extraídos e trabalhados em blocos ou chapas, sendo aplicados tanto em finalidades estéticas, como mesas, esculturas e elementos decorativos, quanto estruturais, contribuindo para o reforço de pilares, colunas e edificações (Abirochas, 2009).

Entretanto, o beneficiamento dessas rochas gera resíduos sólidos e efluentes que podem comprometer o solo, as águas superficiais e subterrâneas, a vegetação e a fauna. A deposição e a suspensão de partículas podem afetar diretamente organismos aquáticos, provocando impactos subletais, como redução do crescimento, atraso na muda, alterações fisiológicas, comprometimento da digestão e metabolismo, e diminuição da reprodução (Castro *et al.*, 2023; Lovern; Strickler; Klaper, 2007).

As rochas destinadas à comercialização passam por diferentes etapas: lavra (extração), beneficiamento primário (serragem) e beneficiamento secundário (polimento), sendo que cada etapa gera resíduos distintos, como partículas finas, fragmentos e material em suspensão (Vidal *et al.*, 2014; Campos *et al.*, 2009; Oliveira e Lange, 2005). Dessa forma, a investigação do potencial tóxico desses resíduos é essencial para identificar os processos mais críticos, estimular o desenvolvimento de tecnologias menos impactantes (como sistemas de reciclagem de resíduos e tratamento de efluentes) e orientar a implementação de práticas sustentáveis (Campos *et al.*, 2009; Vidal *et al.*, 2014).

Ensaio ecotoxicológicos utilizando o microcrustáceo dulcícola *Daphnia similis* são amplamente recomendados para avaliar a toxicidade de partículas e compostos presentes em resíduos, devido à sua facilidade de cultivo em laboratório, elevada sensibilidade a contaminantes e eficiente capacidade filtradora (ABNT, 2016; Prado Filho, 2001).

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a toxicidade aguda de resíduos provenientes de diferentes etapas do beneficiamento de rochas ornamentais utilizando o ensaio ecotoxicológico com *Daphnia similis*, contribuindo para o entendimento dos impactos ambientais desses resíduos e oferecendo subsídios para práticas de manejo sustentável do setor mineral.

Metodologia

As amostras de resíduos foram coletadas em empresas do setor mineral localizadas no município de Cachoeiro de Itapemirim, no sul do Espírito Santo, e armazenadas em sacolas individuais devidamente identificadas. Estas foram provenientes de diferentes etapas do beneficiamento de rochas ornamentais, sendo classificadas como: decantado do tear multifios (originado do tipo de tear utilizado), resíduos de polimento (etapa final do processamento) e resíduos provenientes do aterro sanitário (destino final dos rejeitos).

O solubilizado a partir dos resíduos sólidos foi preparado seguindo a normativa NBR 10006 (Associação, 2004). Os resíduos foram solubilizados na proporção de 1:4 (massa/volume) em meio reconstituído composto por soluções reagentes contendo sais diluídos em água deionizada (meio MS), seguido de agitação em bquer em baixa velocidade por 5 minutos. A amostra foi coberta por plástico filme e permaneceu em repouso por 7 dias em temperatura entre 20 e 25°C.

Os organismos utilizados nos ensaios foram provenientes do cultivo realizado no Laboratório de Ecotoxicologia (LABTOX) da Universidade Federal do Espírito Santo, obtido inicialmente junto à Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

Os ensaios de toxicidade aguda com *Daphnia similis* foram conduzidos de acordo com a normativa NBR 12713 (Associação, 2016). Três ensaios independentes foram realizados, cada um utilizando o solubilizado de um tipo de resíduo: (i) decantado do tear multifios, (ii) resíduo de polimento e (iii) resíduo coletado no aterro sanitário.

Para cada tratamento, foram preparadas dez réplicas, contendo cinco neonatos (idade entre 6 e 24 h), totalizando 50 organismos. Cada réplica foi exposta a 10 mL do solubilizado por um período de 48 horas, sob ausência de luz, temperatura entre 18 °C e 22 °C e sem alimentação. Como controle, utilizou-se o meio MS empregado no cultivo e manutenção das culturas.

Ao término das 48 horas de exposição, avaliou-se a imobilidade dos organismos por contagem manual. Foram considerados imóveis os indivíduos que não apresentaram nenhum movimento, mesmo após estímulo mecânico suave. Os resultados foram expressos em porcentagem de organismos imobilizados, conforme definido pela NBR 12713 (Associação, 2016). Ainda segundo a normativa, os ensaios foram considerados válidos quando a imobilidade no controle negativo não excedeu 10%.

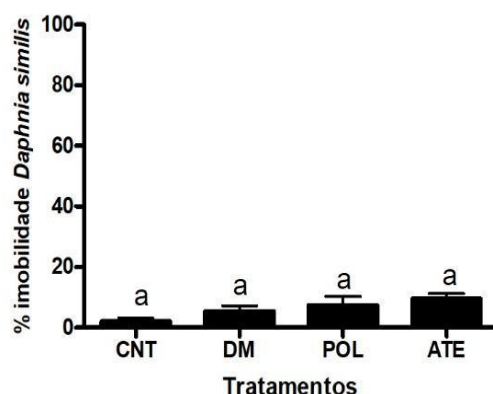
Para as análises quantitativas, foi realizada a análise de variância (ANOVA) seguido do Teste de Tukey (Zar, 2010). Sendo considerada uma margem de erro de 5%. Os cálculos e os gráficos foram realizados com a utilização do software Graphpad Prism (v.4).

Resultados

O ensaio com *D. similis* demonstrou ausência de toxicidade aguda dos resíduos das diferentes etapas do beneficiamento da indústria de rochas ornamentais (Figura 1). Apesar da ausência de letalidade, a avaliação morfológica dos organismos revelou uma evidente acumulação de partículas no trato digestivo, indicando ingestão dos resíduos presentes em suspensão (Figura 2B). Esse resultado demonstra a possibilidade de ocorrência de efeitos subletais, que podem ocorrer à longo prazo, mesmo na ausência de mortalidade imediata.

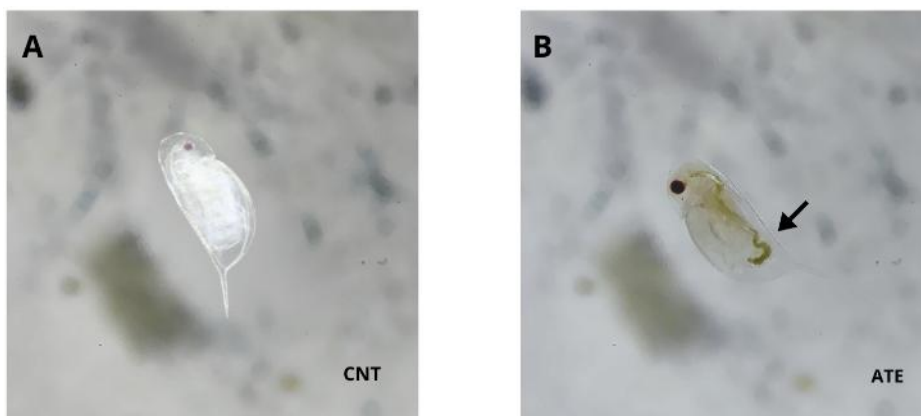
Figura 1 - Porcentagem de imobilidade de *Daphnia similis* após exposição aos extratos solubilizados de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais. CNT = Controle experimental; DM = Decantado multifios; POL = Polimento; ATE = Aterro

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO



Fonte: Os autores (2025).

Figura 2 – Morfologia de *Daphnia similis* após exposição com resíduos de rochas ornamentais. A - controle; B - após exposição às amostras do aterro. CNT = Controle experimental; ATE = Aterro. Seta evidenciando o trato digestivo contendo resíduos.



Fonte: Os autores (2025).

Discussão

Os ensaios com *Daphnia similis* utilizando resíduos de diferentes etapas do beneficiamento de rochas ornamentais (decantado do tear multifios, polimento e aterro sanitário) não evidenciaram toxicidade aguda, uma vez que não houve imobilidade imediata dos organismos. Esse resultado sugere que, em curto prazo, os resíduos não apresentaram efeitos letais diretos. Entretanto, a análise microscópica revelou acúmulo de partículas no trato digestivo, evidenciando ingestão de material e indicando o potencial para ocorrência de efeitos subletais (Wang et al., 2018; Rist et al., 2017).

Tanto os efeitos físicos, relacionados ao acúmulo e obstrução intestinal, quanto os efeitos químicos, associados à presença de metais, cal e granalha nos resíduos, podem comprometer o funcionamento fisiológico dos organismos. Tais alterações podem prejudicar processos como digestão, assimilação de nutrientes e metabolismo energético, resultando em crescimento reduzido, atraso na muda e diminuição da reprodução (Castro *et al.*, 2011; Lovern; Strickler; Klaper, 2007; Kühl *et al.*, 2022; Miranda, 2016). Essas consequências, mesmo que não se expressem de forma imediata, afetam diretamente o desempenho competitivo dos indivíduos, o sucesso reprodutivo e a manutenção das populações.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Os impactos observados em *D. similis* também podem ter repercussões ecológicas mais amplas. Alterações na reprodução e no crescimento de organismos zooplanctônicos podem reduzir sua abundância e comprometer seu papel como consumidores primários, afetando a transferência de energia dentro da teia trófica (Jardim, 2005). Além disso, a ingestão de partículas contaminadas sugere a possibilidade de transferência de compostos ao longo da cadeia alimentar, representando risco para organismos de níveis tróficos superiores. Esse cenário reforça a necessidade de avaliar não apenas os efeitos agudos, mas também os subletais e crônicos, considerando tanto os mecanismos físicos quanto os químicos.

Conclusão

Levando em consideração os resultados obtidos, conclui-se que as amostras testadas não apresentaram toxicidade aguda para *Daphnia similis*, indicando ausência de efeitos imediatos de imobilidade. Contudo, a ausência de toxicidade aguda não exclui a possibilidade de impactos ambientais em longo prazo, visto que a análise morfológica evidenciou a acumulação de resíduos no trato digestório dos organismos. Com isso, para uma avaliação mais assertiva do setor recomenda-se a realização de ensaios de toxicidade crônica, que permitam avaliar parâmetros como reprodução, tempo de muda, crescimento e até possíveis alterações celulares, fornecendo uma visão mais abrangente sobre o potencial risco associados dos resíduos analisados para a biota.

Futuros estudos sobre a indústria de rocha ornamental devem ainda considerar ensaios de toxicidade crônica com outros organismos bioindicadores, avaliação de poluentes, monitoramento dos locais de descarte dos resíduos, e corpos d'água próximos aos aterros, fornecendo informações essenciais para a gestão sustentável e a proteção da biota aquática.

Referências

- ABIROCHAS. **Guia de aplicação de rochas em revestimento**. São Paulo: ABIROCHAS, 2009.
- ALENCAR, C. R. A. **Manual de caracterização, aplicação, uso e manutenção das principais rochas comerciais no Espírito Santo**. Vitória: Instituto Euvaldo Lodi, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10006: **Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 12713: **Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda – Método de ensaio com *Daphnia spp* (Crustacea, Cladocera)**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- CALMON, J. L.; SILVA, S. A. C. **Mármore e granito no Espírito Santo: problemas ambientais e soluções**. In: DOMINGUES, A. F.; BOSON, P. H. G.; ALÍPAZ, S. (org.). A gestão de recursos hídricos e a mineração. Brasília: Agência Nacional de Águas – ANA; Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM, 2006. p. 199-231.
- CAMPOS, A. R.; CASTRO, N. F.; VIDAL, F. W. H.; BORLINI, M. C. Tratamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais e de revestimento, visando mitigação de impacto ambiental. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 23., 2009, Fortaleza, CE. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2009. p. 16-25.
- CASTRO, N. F.; MARCON, D. B.; FREIRE, L. C.; LIMA, E. de F.; ALMEIDA, P. F. **Impacto do APL de rochas ornamentais do Espírito Santo nas comunidades**. In: CASTRO, N. F.; LIMA, E. de F. (org.). Recursos minerais & sustentabilidade territorial: arranjos produtivos locais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2011. v. 2, p. 139-176. ISBN 978-85-61121-84-6.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

CASTRO, Daniela Grijó de; DESTRO, Ana Luiza Fonseca; COIMBRA, Eder Carlos Lopes; SILVA, Aurea Luiza Lemes da; MOUNTEER, Ann Honor. **Efeitos dos microplásticos de PET no crustáceo de água doce *Daphnia similis* Claus, 1976.** *Acta Limnologica Brasiliense*, v. 35, e6, 2023.

CHEN, H.; GU, X.; ZENG, Q.; MAO, Z. **Acute and chronic toxicity of carbamazepine on the release of chitinase, molting, and reproduction in *Daphnia similis*.** *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 16, n. 2, p. 209, 2019.

FLOHR, Letícia. **Avaliação da toxicidade de resíduos sólidos industriais sobre *Daphnia magna*.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

GRAPH PAD SOFTWARE. **GraphPad Prism version 4.00 for Windows.** San Diego, California: GraphPad Software, 2005.

JARDIM, Glaucia Maria. **Estudos ecotoxicológicos da água e do sedimento do rio Paraíba do Sul utilizando *Daphnia similis*.** 2005. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

KÜHL, A. M.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; MANTOVANO, T.; DEOSTI, S.; LANSAC-TÔHA, F. A. **Testes tóxicos mostram a sensibilidade de *Daphnia similis* (Crustacea, Cladocera) e *Pseudokirchneriella subcapitata* (Chlorophyceae) a pesticidas comerciais.** *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 94, n. 4, e20201234, 2022.

LOVERN, S. B.; STRICKLER, J. R.; KLAPER, R. **Behavioral and physiological changes in *Daphnia magna* when exposed to nanoparticle suspensions (titanium dioxide, nano-C60, e derivados).** *Environmental Science & Technology*, v. 41, n. 12, p. 4465-4470, 2007.

MIRANDA, Viviane Faria de. **Avaliação da toxicidade de líquidos percolados gerados em aterros sanitários utilizando *Daphnia similis* e *Ceriodaphnia silvestrii*.** 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

OLIVEIRA, G. A. G.; LANGE, L. C. **Gerenciamento dos resíduos sólidos industriais na área mineira da bacia hidrográfica do Médio São Francisco.** In: ABES. Saneamento ambiental brasileiro: utopia ou realidade? Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 2005. p. 1-13.

PRADO FILHO, José Francisco do. **O processo de avaliação do impacto ambiental (AIA) de projetos e empreendimentos minerais como um instrumento de gestão ambiental: estudo de casos no Quadrilátero Ferrífero/MG.** 2001. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2001.

RIST, S.; BAUN, A.; HARTMANN, N. B. **Ingestion of micro- and nanoplastics in *Daphnia magna* – Quantification of body burdens and assessment of feeding rates and reproduction.** *Environmental Pollution*, v. 228, p. 398–407, 2017.

SARDOU FILHO, R.; MATOS, G. M. M.; MENDES, V. A.; IZA, E. R. H. **Atlas de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo.** Brasília: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2013. 349 p. ISBN 978-85-7499-190-0.

VIDAL, F. W. H.; PINHEIRO, R. J.; CASTRO, F. N.; CARANASSIOS, A. **Lavra de rochas ornamentais.** Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014.

WANG, Y.; KALOGERAKIS, N.; JI, R. **Physicochemical interactions of microplastics with pollutants and their ecological effects.** *Environmental Science & Technology*, v. 52, n. 19, p. 10373–10382, 2018.

*A Ciência do **NANO** e seu impacto transformador no **MACRO***

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. 5. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010. 944 p.

Agradecimentos

Ao LABTOX (Laboratório de Ecotoxicologia – UFES), pelo apoio na infraestrutura, pelas análises laboratoriais e pela convivência acolhedora e descontraída da equipe nos momentos de tensão; e à UFES, pelo suporte institucional prestado.