ReGeo ISSN: 2177-3246

AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DE UM FLUIDO DE PERFURAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO

ECOTOXICOLOGICAL EVALUATION OF A DRILLING FLUID UNDER DEVELOPMENT

EVALUACIÓN ECOTOXICOLÓGICA DE UN FLUIDO DE PERFORACIÓN EN DESARROLLO

https://doi.org/10.56238/revgeov17n11-141

Data de submissão: 25/10/2026 **Data de publicação:** 25/11/2026

Aurélio Mateus Medeiros Antas
Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN)
E-mail: antas.aurelio@escolar.ifrn.edu.br

Alisson Diego da Silva Rodrigues
Graduando em Biomedicina
Instituição: Universidade Potiguar (UNP)
E-mail: alissondsr2003@gmail.com

Cleonilson Mafra Barbosa
Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN)
E-mail: cleonilson.mafra@ifrn.edu.br

Sinara Cybelle Turíbio e Silva-Nicodemo
Doutora em Biotecnologia
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN)
E-mail: sinara.turibio@ifrn.edu.br

RESUMO

Presente trabalho almeja avaliar o potencial de impacto ambiental de um fluido de perfuração em desenvolvimento por meio de análises ecotoxicológicas e químicas. O estudo compreendeu a avaliação do desenvolvimento bacteriano de um solo de mata atlântica preservada exposto ao fluido, monitorado por 53 dias, ensaio de toxicidade com o microcrustáceo Mysidopsis juniae e caracterização química por espectroscopia de fluorescência de raios-X (FRX). Os resultados mostraram que o fluido reduziu significativamente a quantidade e a diversidade morfológica das colônias bacterianas do solo, indicando ação seletiva sobre a microbiota nativa. No ensaio ecotoxicológico, houve letalidade de 100% dos organismos em todas as concentrações testadas já nas primeiras 24 horas. A análise por FRX não evidenciou surgimento de novos elementos detectáveis no solo contaminado, embora a técnica não quantifique compostos orgânicos.

Palavras-chave: Ecotoxicologia. Fluido de Perfuração. Microbiota. Mysidopsis Juniae. FRX.

ABSTRACT
This study aims to evaluate the environmental impact potential of a drilling fluid under development through ecotoxicological and chemical analyses. The study comprised the evaluation of bacterial development in soil from a preserved Atlantic rainforest area exposed to the fluid, monitored for 53 days, toxicity testing with the microcrustacean Mysidopsis juniae, and chemical characterization by X-ray fluorescence spectroscopy (XRF). The results showed that the fluid significantly reduced the quantity and morphological diversity of bacterial colonies in the soil, indicating selective action on native microbiota. In the ecotoxicological assay, there was 100% lethality of organisms in all tested concentrations within the first 24 hours. XRF analysis did not show the emergence of new detectable elements in contaminated soil, although the technique does not quantify organic compounds.

Keywords: Ecotoxicology. Drilling Fluid. Microbiota. *Mysidopsis juniae*. XRF.

RESUMEN
Este trabajo tiene como objetivo evaluar el potencial de impacto ambiental de un fluido de perforación en desarrollo a través de análisis ecotoxicológicos y químicos. El estudio incluyó la evaluación del desarrollo bacteriano en suelo de un área de selva atlántica preservada expuesto al fluido, monitorizado durante 53 días, ensayo de toxicidad con el microcrustáceo Mysidopsis juniae y caracterización química mediante espectroscopia de fluorescencia de rayos X (FRX). Los resultados mostraron que el fluido redujo significativamente la cantidad y diversidad morfológica de colonias bacterianas en el suelo, indicando acción selectiva sobre la microbiota nativa. En el ensayo ecotoxicológico, hubo una mortalidad del 100% de los organismos en todas las concentraciones probadas dentro de las primeras 24 horas. El análisis por FRX no mostró la aparición de nuevos elementos detectables en el suelo contaminado, aunque la técnica no cuantifica compuestos orgánicos.

Palabras clave: Ecotoxicología. Fluido de Perforación. Microbiota. *Mysidopsis juniae*. FRX.

1 INTRODUÇÃO

A perfuração de poços desempenha um papel estratégico no desenvolvimento socioeconômico do Brasil, integrando setores essenciais, como o abastecimento público de água, a extração de petróleo e gás, a mineração, a construção civil e dentre outras atividades relevantes para o desenvolvimento econômico do país. No Brasil, conforme apontado por Hirata *et al.* (2019), existem mais de 2,5 milhões de poços tubulares, que são utilizados para captação de água que é empregada no desenvolvimento de inúmeras atividades econômicas, tais como agropecuária, abastecimento doméstico e abastecimento industrial. Na área da mineração, é comum que ocorra uma produção de água superior à produção de minérios, especialmente em casos onde as minas se encontram próximas de aquíferos livres ou confinados, havendo a necessidade de perfuração de poços tubulares nas proximidades para bombear a água durante o período em que ocorreram as atividades de mineração (IBRAM; ANA, 2013). Entre os anos de 2023 e 2024, foram extraídos no Brasil cerca de 3,437 milhões de barris de petróleo por dia (EPE, 2024), uma produção que sagra o Brasil como um dos maiores produtores de petróleo do mundo, uma área industrial que depende intensamente da abertura de poços em ambientes terrestres e marítimos. Esses diferentes contextos consolidam a perfuração de poços como uma tecnologia crítica, cuja segurança operacional e sustentabilidade ambiental têm se tornado prioridades crescentes.

Para a perfuração de poços, os fluidos de perfuração se apresentam como uma tecnologia essencial, exercendo importantes funções das quais se pode destacar: transmissão de energia hidráulica para as ferramentas de perfuração, o controle da corrosão das ferramentas utilizadas no procedimento e o resfriamento da broca, a vedação de formações permeáveis, a retirada de detritos do poço, além de manter a estabilidade do mesmo, e a minimização do impacto ambiental (SANTOS, 2012). Portanto, é indispensável que estes produtos sejam desenvolvidos com formulações que conciliem eficiência técnica com um desempenho ambientalmente adequado.

Historicamente, muitos dos componentes empregados nessas formulações apresentavam baixa biodegradabilidade, elevada toxicidade ou potencial de bioacumulação, o que comprometeu áreas sensíveis e ecossistemas frágeis. Em locais onde os fluidos de perfuração se acumulam em altas concentrações nos sedimentos, efeitos adversos são evidentes tais como o declínio na população de animais resultando em uma diminuição na diversidade de espécies, além de hipóxia ou anóxia decorrente da degradação microbiana do fluido de perfuração, resultado na eliminação de organismos sensíveis, que são substituídos por organismos mais tolerantes (NEFF; MCKELVIE; AYERS Jr., 2000). Estudos ecotoxicológicos realizados em crustáceos apontam que fluidos de perfuração à base de água têm-se mostrado mais nocivos em relação aos fluidos à base de óleo e sintéticos pois a dose

letal observada nesses estudos se mostrou menor para fluidos à base de água em relação aos outros dois (ASLAN et. al., 2019).

Diante do exposto, torna-se imprescindível que novos produtos destinados ao mercado e uso na indústria sejam avaliados sob critérios técnicos rigorosos antes de sua comercialização ou aplicação em campo. Estudos de impacto ambiental sobre fluidos de perfuração em desenvolvimento devem considerar tanto seu comportamento químico quanto seu potencial de interferência biológica.

Os crustáceos misidáceos são consumidores secundários, sensíveis a uma ampla variedade de agentes químicos e de cultivo relativamente simples em laboratório, características que favorecem seu uso como organismos-teste (SILVA-NICODEMO, 2010). No Brasil, *Mysidopsis juniae* (SILVA, 1979 apud SILVA-NICODEMO, 2010) é uma das espécies mais empregadas: trata-se de um organismo onívoro, de hábito epibêntico e reprodução sexuada, cujos ovos são incubados em uma bolsa incubadora até a emergência dos juvenis, e sua eficácia como organismo-teste foi demonstrada em diversos estudos (SILVA-NICODEMO, 2010).

A padronização do uso de misidáceos no Brasil limita-se à ABNT NBR 15308/2023, que regulamenta o ensaio de toxicidade aguda. Até onde se tem conhecimento não há norma brasileira equivalente para ensaios crônicos com esses organismos. Para suprir essa lacuna, Silva-Nicodemo (2010) adaptou o método de sobrevivência, crescimento e fecundidade desenvolvido pela USEPA (2002) para *Mysidopsis bahia*, espécie do mesmo gênero.

Através de ensaios de ecotoxicologia e análises químicas, torna-se possível avaliar os efeitos causados pelas substâncias presentes na composição do fluido na sobrevivência dos organismos assim como possíveis alterações causadas na composição química do solo após este entrar em contato com o produto, portanto, o presente trabalho tem como principal objetivo avaliar o potencial de impacto ambiental causado pelo fluido de perfuração em desenvolvimento valendo-se de análises ecotoxicológicas e químicas.

2 OBJETIVOS

Diante do exposto, o principal objetivo deste trabalho é:

- Avaliar o potencial de impacto ambiental de um fluido de perfuração em desenvolvimento através de análises ecotoxicológicas e químicas.

E tem como objetivos específicos:

- Analisar os efeitos do fluido de perfuração sobre a microbiota do solo de uma mata nativa, visando identificar possíveis alterações no desenvolvimento microbiano;
- Avaliar os efeitos nocivos do fluido de perfuração em desenvolvimento sobre organismos vivos (*Mysidopsis juniae*);
- Determinar possíveis alterações na composição química do solo por meio da através da técnica de espectroscopia de fluorescência de raios-X (FRX);
- Avaliar a compatibilidade ambiental do fluido de perfuração analisado, considerando seus efeitos sobre a microbiota e alterações causadas na composição química do solo.

3 MÉTODO DE PESQUISA

O procedimento metodológico adotado nesta pesquisa teve início com a coleta *in loco* de solo, em uma área de mata atlântica preservada nas proximidades da Zona de Proteção Ambiental 09 do município de Natal. Em laboratório, as amostras coletadas foram submetidas a um processo inicial de preparação, que envolveu a e remoção de material grosseiro, como pedaços de galhos, folhas e pequenas pedras. Em seguida, o solo foi distribuído em béqueres devidamente higienizados e identificados, estabelecendo-se dois grupos experimentais: um grupo-controle, composto apenas pelo solo natural, e um grupo-contaminado, no qual o fluido de perfuração em desenvolvimento foi cuidadosamente aplicado.

Ao longo do período de monitoramento, porções padronizadas de solo foram coletadas regularmente, utilizando instrumentos previamente esterilizados em autoclave, para avaliar possíveis alterações na microbiota nativa. Para isso, empregou-se o método microbiológico *spread plate*, técnica clássica de quantificação de unidades formadoras de colônia (UFC), permitindo observar a diversidade e quantidade de microrganismos presentes no solo após contato com o fluido de perfuração, possibilitando a identificação de eventuais tendências de redução, estabilização ou recuperação microbiana durante o experimento.

Ao final do experimento com o solo, o material remanescente de cada amostra foi cominuído de forma a assegurar a uniformidade necessária para análises químicas. Após isso, a fração fina obtida foi então submetida ao ensaio de FRX, técnica que permite identificar potenciais alterações químicas decorrentes do contato com o fluido de perfuração.

Paralelamente, foram realizados ensaios ecotoxicológicos com o microcrustáceo *Mysidopsis juniae*, seguindo a metodologia adaptada por Silva-Nicodemo (2010) de forma a poder determinar efeitos de toxicidade sobre os organismos e estimar o potencial de impacto ambiental em ambientes aquáticos.

4 COLETA E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Aproximadamente 5 kg de solo foram coletados após a remoção da camada superficial de matéria orgânica, realizada com o auxílio de uma enxada. Com o objetivo de preservar as condições da microbiota nativa, as amostras foram acondicionadas em sacos mantidos abertos, em ambiente arejado, permitindo a circulação de ar durante o armazenamento.

Para a preparação das amostras, o solo foi submetido a peneiramento em malha de 2,0 mm, previamente higienizada com álcool, visando à remoção de raízes e outros materiais grosseiros, bem como à obtenção de uma granulometria mais uniforme, facilitando a posterior preparação dos tratamentos experimentais (SILVA-NICODEMO, 2021).

5 DESENHO EXPERIMENTAL

O solo previamente peneirado foi distribuído em 16 béqueres, utilizados como microcosmos experimentais (Figura 1). Oito deles receberam 100 g de solo natural, sem adição de fluido de perfuração, enquanto os outros oito receberam 90 g de solo, aos quais foram adicionados 10 g do fluido de perfuração em desenvolvimento. Posteriormente, metade dos microcosmos de cada tratamento foi submetida à autoclavagem, sendo utilizada como controle experimental. Adicionalmente, um béquer de cada tratamento foi destinado ao monitoramento da umidade do solo (SILVA-NICODEMO, 2021).

O experimento foi conduzido durante 53 dias, em ambiente com incidência de luz natural difusa e temperatura controlada de 29 ± 2 °C. A avaliação da microbiota do solo foi realizada em intervalos de 14 dias, ao longo do período experimental.

Figura 1. Microcosmos experimental



Fonte: Os Autores, 2022

6 AVALIAÇÃO DAS BACTÉRIAS HETEROTRÓFICAS DO SOLO

Para avaliar o desenvolvimento da microbiota nas amostras de solo, foi empregado o método de espalhamento em superfície (*spread plate*). Para cada tratamento, foram coletadas porções de 1,0 g de solo de cada réplica, as quais foram transferidas para tubos de ensaio contendo 10 mL de água destilada esterilizada. As suspensões foram homogeneizadas em agitador tipo vórtex e submetidas a diluições seriadas até a ordem de 10^{-3}.

Posteriormente, alíquotas de 0,1 mL de cada diluição foram inoculadas, por espalhamento em superfície, em placas de Petri contendo meio de cultura *Plate Count Agar* (PCA). O procedimento foi realizado em triplicata para cada tratamento, totalizando nove placas por tratamento. Em seguida, as placas foram devidamente identificadas e incubadas em estufa a 30 °C durante 72 horas. Esse procedimento foi repetido em intervalos de 14 dias ao longo do período experimental (SILVA-NICODEMO, 2021).

7 ENSAIO DE TOXICIDADE CRÔNICO COM MYSIDOPSIS JUNIAE

Os ensaios de toxicidade foram realizados com *Mysidopsis juniae* como organismo-teste, tendo sido conduzidos no ECOTOX-LAB/UFRN, coordenado pelo professor Guilherme Fulgencio, seguindo a metodologia adaptada por Silva-Nicodemo (2010) a partir do protocolo do USEPA (2002)

para *M. bahia*, com ajustes de temperatura, fotoperíodo, volume, densidade de organismos e frequência de renovação às condições da espécie descritas na ABNT NBR 15308/2023. Filhotes de 6 a 7 dias de vida foram expostos a cinco concentrações da amostra de um fluído de perfuração, sendo 0,2%; 0,4%; 0,8%; 1,6% e 3,2% a partir da proporção 1:9 da fração particulada em suspensão (FPS; *suspended particulate phase*, SPP) que foi preparada segundo o método da ABNT NBR 15469:2021 - Item 4.2.5, que se refere aos fluidos de perfuração e complementares. Primeiro, a amostra foi homogeneizada sob agitação de 1.500 ± 100 rpm por 15 minutos. Em seguida, foi realizada a diluição na proporção de 1:9 (v/v). A mistura foi submetida à agitação de 150 ± 10 rpm durante 5 minutos e, posteriormente, mantida em repouso por 1 hora para decantação. Após esse período, o sobrenadante foi retirado, evitando a ressuspensão do material sedimentado, constituindo a Fração Particulada Suspensa, utilizada no preparo das soluções-teste e nos ensaios ecotoxicológicos. E a Solução Controle foi preparada com água de cultivo do mar filtrada para *M. juniae* conforme a norma indica.

Cada tratamento teve três réplicas, cada uma com 10 organismos em 200 mL de solução-teste, distribuídos de forma aleatória e cobertos com filme plástico. Os ensaios foram planejados para acontecer durante 7 dias, mantidos a 25 ± 1 °C, com fotoperíodo de 12h claro e 12h escuro, salinidade de 35 ppm e sem aeração das soluções-teste. Os organismos receberam náuplios de *Artemia sp*. 20 náuplios por organismo por dia, em quantidade controlada para evitar redução do oxigênio dissolvido de acordo Silva-Nicodemo (2010) e a norma ABNT NBR 15308/2023.

8 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO

A caracterização química das amostras de solo, natural e contaminado pelo fluido de perfuração, foi realizada no Centro de Tecnologia Mineral do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (CT Mineral/IFRN), localizado no Campus Currais Novos. As amostras foram submetidas, na forma de pó solto, à análise de Espectroscopia de Fluorescência de Raios-X (FRX), utilizando um Espectrômetro, de Bancada, de Energia Dispersiva (EDXRF), da *Marca Thermo Fisher Scientific*, Modelo ARL QUANT'X. (Figura 2), utilizando o método à ar para leitura dos elementos.

Para a realização das análises, foram preparadas amostras representativas do solo natural e dos diferentes tratamentos experimentais. Inicialmente, o material foi submetido à secagem e posterior cominuição, até atingir granulometria compatível com a passagem por peneira de abertura correspondente a 200 mesh (74 μm). Essa etapa teve como finalidade promover a homogeneização granulométrica do material e reduzir possíveis heterogeneidades entre as partículas, contribuindo para a obtenção de resultados analíticos mais representativos e reprodutíveis (BECKHOFF *et al.*, 2006). As

amostras foram então condicionadas em recipientes plásticos e inseridas no equipamento para serem analisadas (Figura 3).

Figura 2. Espectrômetro ARL™ QUANT'X EDXRF Spectrometer



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 3. Amostras condicionadas no interior do espectrômetro



Fonte: Os Autores, 2023

9 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao término do período experimental, foi possível observar e comparar o desenvolvimento das colônias microbianas nos tratamentos com solo natural (atenuação natural) e com solo acrescido de

fluido de perfuração. A evolução da microbiota ao longo do experimento está representada nos Quadros 1, 2 e 3 e nos Gráficos 1 e 2.

A análise das imagens apresentadas nos Quadros 1, 2 e 3 evidencia diferenças entre os tratamentos quanto à quantidade e à diversidade morfológica das colônias desenvolvidas. No tratamento de atenuação natural, observou-se maior manutenção da quantidade de colônias ao longo do período experimental, além de uma maior diversidade de morfologias coloniais. Em contrapartida, os tratamentos contendo fluido de perfuração apresentaram menor formação de colônias e menor diversidade morfológica aparente.

A menor quantidade de colônias e a predominância de morfologias semelhantes nos tratamentos contendo fluido de perfuração podem estar relacionadas à ação seletiva de seus componentes sobre a microbiota nativa do solo. Nesse contexto, a exposição ao fluido pode ter desfavorecido o desenvolvimento de microrganismos mais sensíveis, enquanto aqueles com maior tolerância às substâncias presentes na formulação podem ter persistido nas condições experimentais.

A respeito dos ensaios ecotoxicológicos, na primeira leitura, após 24 h de exposição, observou-se letalidade de 100 % dos organismos em todas as concentrações testadas 0,2%; 0,4%; 0,8%; 1,6% e 3,2% de FPS/SPP, enquanto no controle não ocorreu mortalidade. Sendo assim, o teste foi validado. Como não houve sobrevivência em nenhum tratamento, não foi possível ajustar um modelo concentração-resposta nem estimar a CL50, que foi inferior à menor concentração testada (CL(I)50-24 h < 0,2 %). Em razão disso, o ensaio foi encerrado, e a renovação das soluções, a avaliação da fecundidade e a determinação da CENO e da CEO, previstas na metodologia, não puderam ser realizadas.

A letalidade total em até 24h, em todas as concentrações, indica toxicidade elevada e de ação rápida da amostra para *M. juniae* nas condições testadas. Como a primeira leitura ocorreu apenas ao final de 24h, não é possível determinar em que momento desse intervalo ocorreu a morte, nem se o efeito foi imediato ou progressivo. O resultado também não permite distinguir a toxicidade das diferentes concentrações, pois mesmo a menor causou mortalidade total, de modo que a CL50 é menor que o valor testado e a sensibilidade do teste ficou limitada pela faixa de concentrações utilizada. A rapidez do efeito é compatível com fatores de ação imediata, e não com exposição cumulativa. Entre as possíveis causas para fluidos de perfuração estão pH elevado, salinidade fora da faixa de tolerância da espécie, aditivos de ação rápida (por exemplo, biocidas, surfactantes e sais de potássio), fração particulada em suspensão e redução do oxigênio dissolvido por demanda orgânica. O resultado refere-se à exposição de 24h e não é diretamente comparável a valores de CL50-96h da literatura nem ao limite de referência para o descarte de fluidos de base aquosa, definido para 96h. Como a menor

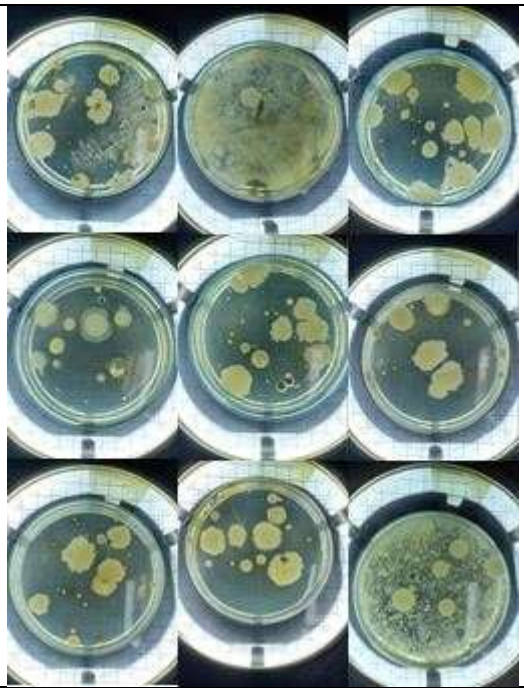
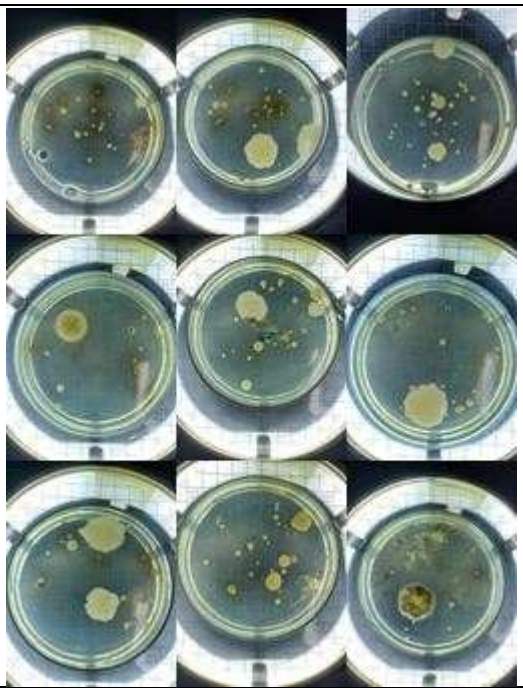
concentração testada 0,2% já causou mortalidade total, também não é possível afirmar se a amostra atenderia ao limite de 3% de SPP (30.000 ppm) nas condições da norma. Esses resultados evidenciam a necessidade de repetir o ensaio com concentrações menores de leituras em intervalos mais curtos nas primeiras 24h para estimar a CL50, identificar o tempo de início do efeito e investigar separadamente o papel do pH, da salinidade e dos aditivos.

A caracterização química por FRX evidenciou diferenças na composição relativa dos elementos químicos presentes nas amostras contendo solo natural e contaminado (Quadro 4). Destaca-se o aumento da proporção de dióxido de silício (SiO_2) nas amostras contaminadas em relação às amostras contendo apenas solo natural. Observa-se também uma redução relativa nos teores de óxido de alumínio (Al_2O_3), óxido de ferro (Fe_2O_3), óxido de titânio (TiO_2), óxido de potássio (K_2O) e óxido de cálcio (CaO) no tratamento contendo solo contaminado pelo fluido de perfuração. Essas diferenças podem estar relacionadas tanto à incorporação do fluido de perfuração quanto às características físicas das amostras durante sua preparação, uma vez que, em virtude da umidade decorrente no fluido, houve maior dificuldade no processo de cominuição do solo contaminado, o que pode ter comprometido a homogeneização granulométrica das amostras e influenciado sua representatividade durante a análise. Considerando a predominância de SiO_2 nos resultados, é possível que a distribuição heterogênea das partículas tenha favorecido a representação de fases minerais ricas em silício, contribuindo para as diferenças observadas.

Em relação à presença de elementos metálicos pesados, a análise não evidenciou o surgimento de novos elementos detectáveis nas amostras contaminadas em relação àquelas submetidas à atenuação natural. Elementos como ferro, cobalto e manganês foram identificados em ambos os tratamentos. Dessa forma, os resultados não indicam enriquecimento do solo por novos elementos metálicos detectáveis em decorrência da adição do fluido de perfuração. Entretanto, é válido ressaltar que a análise FRX não permite descartar a possibilidade de contaminação por compostos orgânicos, uma vez que essa técnica não quantifica adequadamente elementos mais leves que o sódio (Na) (BECKHOFF *et al.*, 2006).

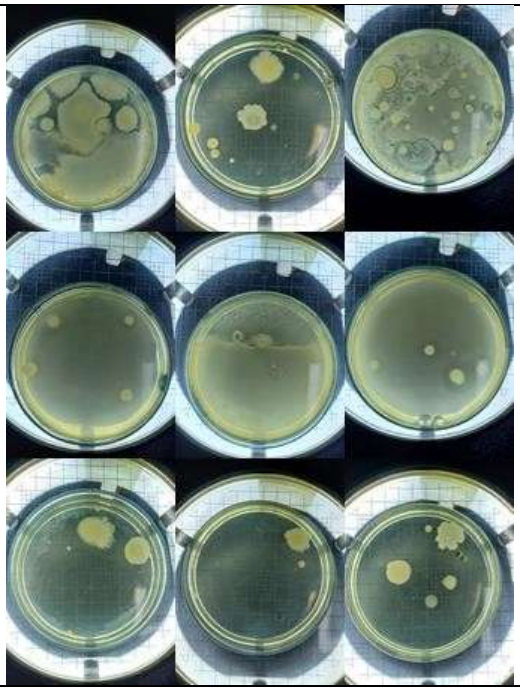
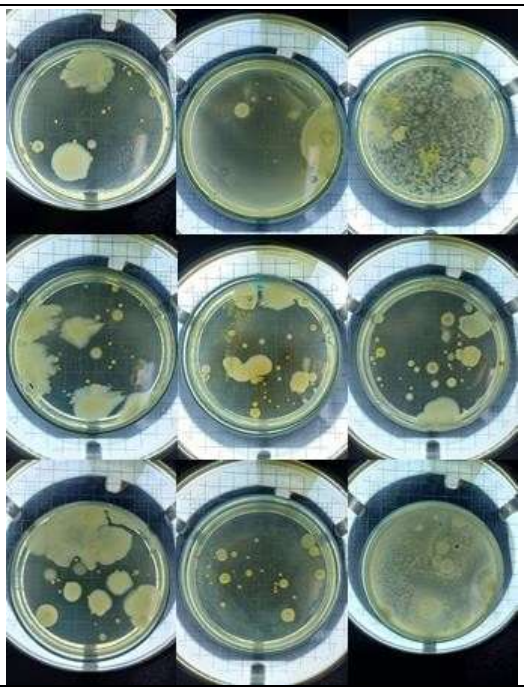
ISSN: 2177-3246

Quadro 1. Placas de Petri (primeira contagem de colônias)

Análises de 08/09/2022	
Solo Contaminado	Solo Natural
	

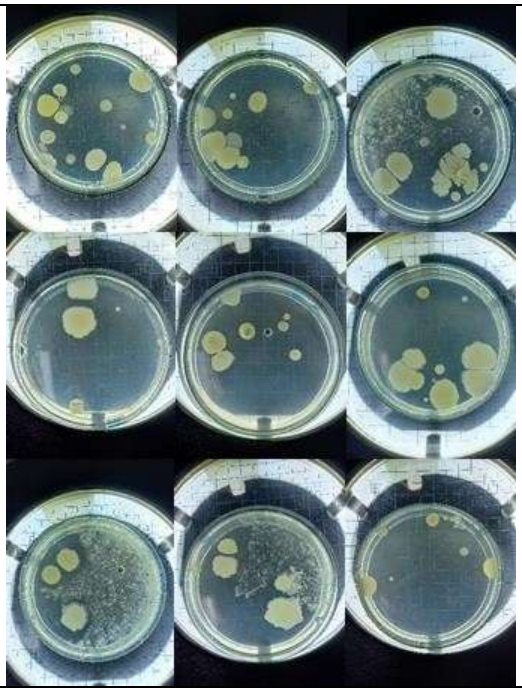
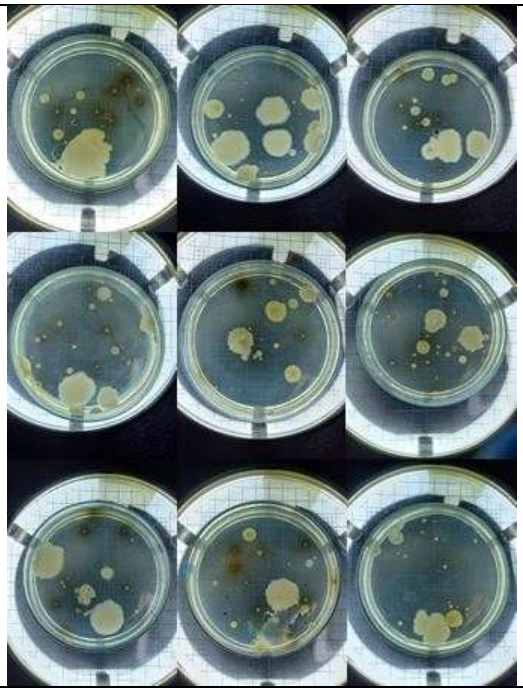
Fonte: Os Autores, 2022

Quadro 2. Placas de Petri (segunda contagem de colônias)

Análises de 22/09/2022	
Solo Contaminado	Solo Natural
	

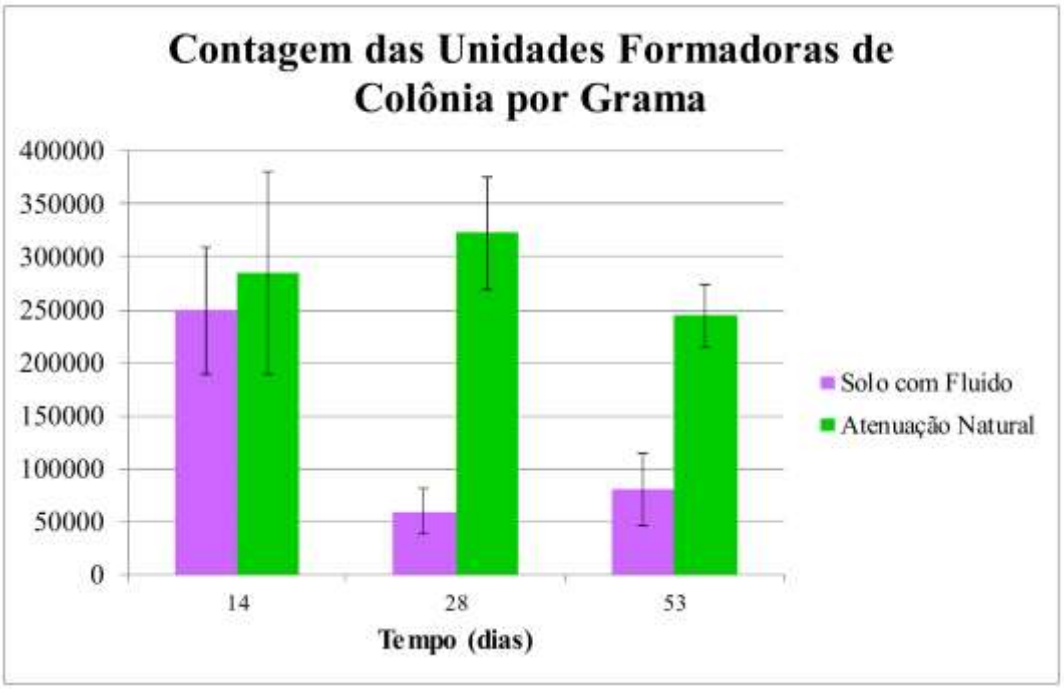
Fonte: Os Autores, 2022

Quadro 3. Placas de Petri (terceira contagem de colônias)

Análises de 17/10/2022	
Solo Contaminado	Solo Natural
	

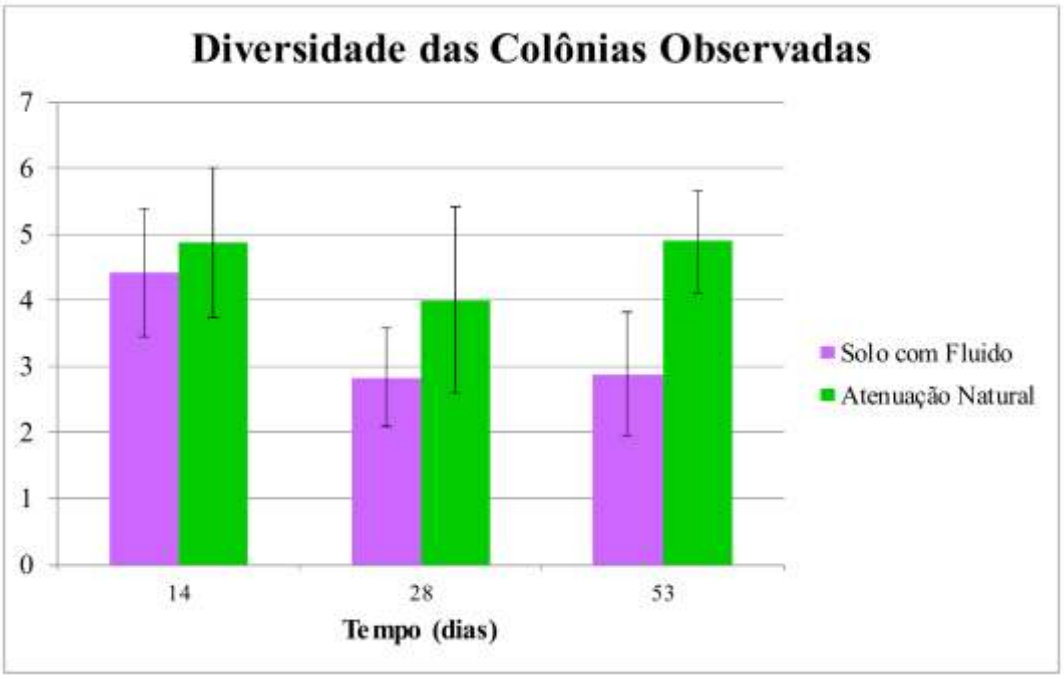
Fonte: Os Autores, 2022

Gráfico 1. Contagem das unidades formadoras de colônia



Fonte: Os Autores, 2022

Gráfico 2. Diversidade das colônias



Fonte: Os Autores, 2022

Quadro 4. Caracterização química das amostras de solo

Solo Contaminado Autoclavado		**Solo Contaminado Não Autoclavado**		**Solo Natural Autoclavado**		**Solo Natural Não Autoclavado**	
Composto	%	Composto	%	Composto	%	Composto	%
SiO_2	86,930	SiO_2	87,190	SiO_2	82,450	SiO_2	78,110
Al_2O_3	8,860	Al_2O_3	8,340	Al_2O_3	10,510	Al_2O_3	12,400
Fe_2O_3	1,350	Fe_2O_3	1,390	K_2O	2,450	K_2O	3,420
TiO_2	0,974	K_2O	1,040	Fe_2O_3	2,050	Fe_2O_3	2,600
K_2O	0,945	TiO_2	0,987	TiO_2	1,090	TiO_2	1,330
CaO	0,387	CaO	0,401	CaO	0,621	CaO	0,857
ZrO_2	0,204	SO_3	0,213	ZrO_2	0,373	ZrO_2	0,532
SO_3	0,145	ZrO_2	0,185	SO_3	0,184	SO_3	0,374
BaO	0,084	BaO	0,093	BaO	0,139	BaO	0,183
Cl	0,048	Cl	0,075	Co_3O_4	0,037	Co_3O_4	0,056
Co_3O_4	0,023	Co_3O_4	0,023	MnO	0,030	MnO	0,038
MnO	0,018	MnO	0,022	SrO	0,019	Cl	0,030
SrO	0,015	SrO	0,012	Cl	0,019	SrO	0,027
-	-	-	-	Nb_2O_5	0,007	Cr_2O_3	0,012
-	-	-	-	Rb_2O	0,007	Nb_2O_5	0,010
-	-	-	-	MoO_3	0,006	Rb_2O	0,009
-	-	-	-	-	-	MoO_3	0,007

Fonte: Os Autores, 2023

10 CONCLUSÕES

Com os resultados apresentados, foi possível constatar que o fluido de perfuração em desenvolvimento estudado demonstrou-se tóxico para a microbiota do solo da área preservada de mata atlântica, uma vez que se verificou efeitos significativos na quantidade de colônias no decorrer do tempo, bem como na sua diversidade.

Efeitos negativos também foram observados nas análises ecotoxicológicas, tendo em vista que, a priori, a ideia era que as dosagens utilizadas permitissem obter dados para determinar efeitos crônicos nos organismos-teste, mas foi o suficiente para mata-los.

Alterações na composição química do solo não foram perceptíveis, mas, como previamente citado, a metodologia utilizada não é capaz de identificar compostos orgânicos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Juliana Pivôtto Nicodemo de Oliveira e a Filipe Oliveira, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), pela disponibilização do fluido de perfuração utilizado na realização das análises apresentadas neste estudo. Agradecem também a Elias Nunes Filho e aos demais técnicos do Centro de Tecnologia Mineral do IFRN Campus Currais Novos, pelo apoio à utilização da infraestrutura laboratorial para a realização das análises por Fluorescência de Raios X (FRX).

REFERÊNCIAS

ASLAN, Jan Fernandes *et al.* ***Toxicity of drilling fluids in aquatic organisms: a review***. *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, v. 14, n. 1, p. 35–47, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15308: Ecotoxicologia aquática — Toxicidade aguda — Método de ensaio com misídeos (*Crustacea*)**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 15469:2021: Ecotoxicologia — Coleta, preservação e preparo de amostras**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BECKHOFF, B. *et al.* (ed.). **Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2006. 883 p. ISBN 978-3-540-36722-2.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). ***Brazilian Oil & Gas Report 2023/2024***. Rio de Janeiro: EPE, 2024.

HIRATA, Ricardo *et al.* **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM); AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). ***Water resource management and the mining industry***. Organização de Antônio Félix Domingues, Patrícia Helena Gambogi Boson e Suzana Allpaz. Brasília, 2013.

NEFF, J. M.; MCKELVIE, S.; AYERS, R. C., Jr. ***Environmental impacts of synthetic based drilling fluids***. *New Orleans: U.S. Department of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region*, 2000.

SANTOS, M. B. **Perfuração de poços de petróleo: fluidos de perfuração**. Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense, Rio de Janeiro, 2012.

SILVA-NICODEMO, S. C. T. **Diagnóstico ecotoxicológico dos efluentes lançados no complexo estuarino do Jundiaí/Potengi, Natal/RN**. 2010. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

SILVA-NICODEMO, S. C. T. **Potencial de Biodegradação de Atrazina por *Bacillus Megaterium* CCT 7935 e *Penicillium Chrysogenum* NRRL 807 para Biorremediação de Solos Contaminados**. 2021. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.