



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS SERRA DA CAPIVARA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA EM QUÍMICA**

FRANCISCA MARIA DE OLIVEIRA COSTA SILVA

**DETERMINAÇÃO DE FÓSFORO EM AMOSTRAS DE MATERIAL
PARTICULADO, SOLO E SEDIMENTO DE ANGICO DOS DIAS**

SÃO RAIMUNDO NONATO

2023

FRANCISCA MARIA DE OLIVEIRA COSTA SILVA

**DETERMINAÇÃO DE FÓSFORO EM AMOSTRAS DE MATERIAL
PARTICULADO, SOLO E SEDIMENTO DE ANGICO DOS DIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal do
Vale do São Francisco – UNIVASF,
Campus Serra da Capivara, como requisito
para conclusão do curso de Licenciatura
em Química.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Cruvinel
Damasceno

SÃO RAIMUNDO NONATO

2023

Silva, Francisca Maria de Oliveira Costa

S586d

Determinação de fósforo em amostras de material particulado, solo e sedimento de Angico dos Dias / Francisca Maria de Oliveira Costa Silva. - São Raimundo Nonato-PI, 2023.

37 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Serra da Capivara, São Raimundo Nonato, 2023.

Orientador: Prof^o Dr. Fernando Cruvinel Damasceno.

1. Mineração – Piauí – Angico dos Dias. 2. Fósforo – elemento químico. 3. Rocha fosfática – análise. I. Damasceno, Fernando Cruvinel. II. Título. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 549

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA EM QUÍMICA

FOLHA DE APROVAÇÃO

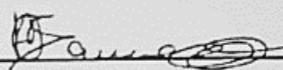
FRANCISCA MARIA DE OLIVEIRA COSTA SILVA

DETERMINAÇÃO DE FÓSFORO EM AMOSTRAS DE
MATERIAL PARTICULADO, SOLO E SEDIMENTO DE ANGICO
DOS DIAS

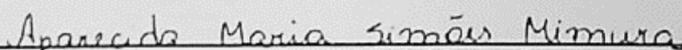
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título de
Licenciada em Química, pela Universidade
Federal do Vale do São Francisco.

Aprovado em: 01 de Março de 2023.

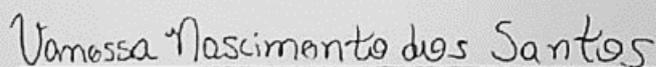
Banca Examinadora



Professor Dr. Fernando Cruvinel Damasceno - Orientador
Colegiado de Licenciatura em Química - UNIVASF



Professora Dra. Aparecida Maria Simões Mimura
Colegiado de Licenciatura em Química - UNIVASF



Professora Dra. Vanessa Nascimento dos Santos
Colegiado de Licenciatura em Química - UNIVASF

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar forças para persistir até aqui e por me permitir viver esse momento de conquista.

A minha família pelo apoio e incentivo, a minha mãe Marly, a minha irmã Raena, ao Johnatan, ao meu pai José Carlos e a todos que torceram por mim.

Ao professor Dr. Fernando Cruvinel Damasceno pela paciência, orientações e ensinamentos que tornaram a conclusão desse trabalho possível.

Aos integrantes do projeto “Fórum Permanente de Cartografia Quilombola: análise de impactos socioambientais e formação do Observatório Transversal da Caatinga” que oportunizaram o desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos moradores da comunidade Angico dos Dias, Sr. Edinei Dias Soares, Sr. José Dias Cordeiro, a Associação Comunitária de Angico dos Dias e do Açú por todo suporte.

A todos os professores que passaram na minha vida, a professora Aparecida Maria Simões Mimura por todo incentivo e a todos os professores do Colegiado de Química.

Aos componentes da banca examinadora por aceitarem contribuir com esse trabalho.

Aos meus amigos que conquistei durante essa jornada, pelas trocas, incentivo e parceria que deixaram essa caminhada mais prazerosa.

RESUMO

A mineração da rocha fosfática é o meio mais comum para obtenção de fósforo, um elemento muito utilizado na agricultura, porém, provoca uma série de problemas ambientais e sociais, como desmatamento, poluição sonora, liberação de gases e de material particulado. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi determinar a concentração de fósforo em amostras de material particulado, solo e sedimento da comunidade Angico dos Dias, pertencente ao município de Campo Alegre de Lourdes-BA. Nessa localidade se encontra instalada uma empresa mineradora que extrai fosfato para produção de fertilizantes. O teor de fósforo das amostras foi determinado a partir do método azul de molibdênio utilizando espectrofotometria UV-Vis em 880 nm. Foram analisadas amostras de material particulado coletadas em três pontos, sendo dois em Angico dos Dias e um em São Raimundo Nonato-PI, durante o período de cinco meses. A amostra de solo foi retirada de uma área próxima à mineradora e a amostra de sedimento foi retirada às margens da lagoa que se encontra entre a mineradora e a comunidade. A quantidade de fósforo e material particulado encontrado nas amostras da comunidade foram maiores do que as do ponto de referência e essa quantidade variou ao longo dos meses, aumentando com a diminuição das chuvas. A amostra de solo apresentou o dobro da concentração encontrada no sedimento, como já era esperado, uma vez que a amostra de solo foi retirada de um local próximo à área de descarte de resíduos da mineradora. Esses dados sugerem que a mineração contribui para a poluição atmosférica de Angico dos Dias.

Palavras-chave: fósforo; material particulado; mineração; solo; sedimento.

ABSTRACT

Phosphate rock mining is the most common means to obtain phosphorus, which is an element used in agriculture. However, it causes environmental and social problems, such as deforestation, noise pollution, the release of gases and particulate matter. In this work, phosphorus concentration was determined in samples of particulate matter, soil and sediment from Angico dos Dias, a community located at Campo Alegre de Lourdes-BA. The community is near an active phosphate mine and the phosphate extracted is used in fertilizer manufacture. The phosphorus content in the samples was determined by UV-vis spectrophotometry using the molybdenum blue method. Samples of particulate matter were collected at three points, two in Angico dos Dias and one in São Raimundo Nonato-PI, during five months. The soil sample was collected near the mining camp and the sediment sample was taken from the lake in Angico dos Dias. The amount of phosphorus and particulate matter found in the samples collected in Angico dos Dias were higher than the reference point. This amount varied throughout the year, increasing in the dry season. The soil sample had twice the amount of phosphorus than the sediment sample. This result was expected since the soil sample was taken from a location close to the mining company's waste disposal area. These data suggest that mining contributes to atmospheric pollution in Angico dos Dias.

Keywords: phosphorus; particulate matter; mining; soil; sediment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa da área de mineração em Angico dos Dias.....	23
Figura 2 - Coletor para amostras de Material Particulado.	23
Figura 3 – Coletores instalado nos pontos P ₁ e P ₂	24
Figura 4 – Filtros de acetato de celulose usados na coleta de material particulado: a) filtro novo, b) filtro após a coleta dentro da comunidade, c) filtro após a coleta atrás da mineradora e d) filtro após a coleta em São Raimundo Nonato.	29
Figura 5 – Curva analítica de fósforo.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Massa das amostras analisadas.....	25
Tabela 2 – Massa dos filtros antes e depois da coleta, massa de MP e deposição seca diária.	27
Tabela 3 – Massa e deposição diária de fósforo das amostras de MP.....	30
Tabela 4 – Teor de fósforo nas amostras de solo e sedimento.	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 JUSTIFICATIVA	14
3 OBJETIVOS	16
4 REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 MATERIAL PARTICULADO	17
3.2 SOLO E SEDIMENTO.....	18
3.3 MÉTODO DO AZUL DO MOLIBDÊNIO	19
5 METODOLOGIA	22
5.1 MATERIAIS E REAGENTES.....	22
5.2 COLETA DAS AMOSTRAS.....	22
5.3 MÉTODO DE EXTRAÇÃO PARA ANÁLISE	24
5.4 ANÁLISE DE FÓSFORO.....	26
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade importante para o desenvolvimento das civilizações, praticada desde a antiguidade. Hoje esta atividade é responsável pela exploração de minérios, matéria-prima fundamental para produção industrial de diversos segmentos. A instalação de mineradoras nas comunidades contribui com a economia local, gerando empregos e, supostamente, desenvolvimento. Em contrapartida, gera uma série de conflitos sociais e impactos ambientais. O Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, na resolução N.º 001/1986 no seu artigo 1.º define impacto ambiental como:

Art. 1.º Para efeito desta Resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986, *online*).

Os problemas provocados pela mineração são inúmeros: alteração da paisagem, redução da fauna, alteração da flora, poluição das águas, poluição sonora e atmosférica em função da liberação de gases e/ou material particulado. O material particulado quando presente em grandes quantidades na atmosfera pode provocar redução da produção agrícola, danos à saúde humana, às florestas, às construções, às obras de arte e aos ecossistemas. Sua constituição depende do tipo de fonte da qual é derivado, podendo ser visível como fumaça e poeira ou partículas microscópicas, que podem causar problemas respiratórios (QUEIROZ *et al.*, 2007).

Os minérios explorados podem ser metálicos ou não-metálicos e incluem uma grande variedade de minerais, entre eles minerais fosfatados. Duas das principais aplicações de minerais fosfatados são na produção de ácido fosfórico (H_3PO_4) e fertilizantes, componentes importantes para a agricultura em grande escala. A fonte mais viável para extração de fosfatos é a partir de rochas fosfáticas, rochas encontradas em depósitos de origem sedimentares e ígneas (SOUZA; FONSECA, 2009).

As rochas fosfáticas por sua própria natureza podem conter substâncias tóxicas para o meio ambiente, como urânio (U) e tório (Th), cádmio (Cd), arsênio (As),

chumbo (Pb), cromo (Cr), mercúrio (Hg) e radionuclídeos como rádio (Ra) e polônio (Po). Esses elementos podem contaminar os fertilizantes durante seu processamento e serem disseminados nas plantas, nos solos e nos recursos hídricos, oferecendo riscos à saúde da população e dos animais (DISSANAYAKE; CHANDRAJITH, 2009; OTHMAN; MASRI, 2007; SABIHA-JAVIED *et al.*, 2009).

Todos os fosfatos contêm o elemento fósforo, um elemento químico de número atômico 15 e massa atômica 30,973 u, localizado no terceiro período e décima quinta família da tabela periódica e representado pela letra P. Este elemento é indispensável para a vida e está diretamente ligado ao desenvolvimento de plantas e animais, pois está envolvido em processos de transferência de energia, nos processos de formação dos ossos, na forma de fosfatos de cálcio, e compõe as moléculas de DNA e RNA (GREENWOOD; EARNSHAW, 1997).

Devido às suas propriedades químicas, o fósforo não é encontrado livre na natureza, sendo encontrado sempre na forma de compostos. Nas plantas, ele é responsável por fornecer energia para a fotossíntese como trifosfato de adenosina (ATP), além de ser importante para a reprodução e crescimento (SOUZA; FONSECA, 2009). As características químicas mencionadas fazem com que haja grande demanda por compostos fosfatados, movimentando a indústria de fertilizantes e conseqüentemente a atividade mineradora.

Apesar dos benefícios da fertilização para a agricultura, o excesso de nutrientes, como o fósforo nos rios e lagos constitui um problema ambiental, pois favorece a proliferação de algas e plantas superiores, causando a morte de peixes e das diversas formas de vida aquáticas, devido à redução dos níveis de oxigênio dissolvido na água em um fenômeno conhecido como eutrofização (GREENWOOD; EARNSHAW, 1997).

A principal fonte de fósforo utilizada pelo homem é encontrada na forma de minerais fosfatados, sendo o principal destes minerais as apatitas, cuja fórmula geral é $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$, e são as únicas com valor comercial (SOUZA; FONSECA, 2009). No Brasil, os teores de fósforo dos minerais fosfatados variam de 32% a 38%, depois do beneficiamento (LOUREIRO *et al.*, 2005). Os Dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos mostram que nos anos de 2019 e 2020, o Brasil ocupou a posição de oitavo e sétimo lugar, respectivamente, entre os países que mais produziram fosfato do mundo e ocupou a sexta vaga entre os países que possuem a maior quantidade de reservas (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2021). Essas

reservas estão localizadas principalmente nos estados de Minas Gerais, Goiás, São Paulo, Santa Catarina, Ceará, Pernambuco, Bahia, Paraíba e Tocantins (SOUZA; FONSECA, 2009).

Angico dos Dias fica localizado na região noroeste do município de Campo Alegre de Lourdes-BA, na divisa entre Bahia e Piauí, a 13 km do município de Caracol-PI, sendo este o município mais próximo do povoado. As principais atividades econômicas desenvolvidas pela população do povoado são a agricultura, dependente dos períodos chuvosos, além da pecuária e o extrativismo de mel e madeira. O clima do local é semiárido, com sol predominante durante boa parte do ano, sendo o período chuvoso entre os meses de dezembro a março, e os outros meses um período seco (LEITE, 1997).

Campo Alegre de Lourdes está inserida geologicamente no extremo-noroeste do Cráton do São Francisco. Essa região está associada à província metalogenética, que contém depósitos de várias jazidas, sendo elas de ferro, titânio, vanádio e rocha fosfática (LEITE, 1997). A jazida de fosfato encontrada em Angico dos Dias é de origem ígnea, como a maioria das rochas do país, e de idade pré-cambriana, que ao longo do tempo, sofreu intemperismos e metamorfismos. De acordo com Zarur *et al.* (2006) em 1984, pesquisas realizadas pela Companhia Brasileira de Metalurgia Mineral (CBMM) identificaram a existência de uma faixa de fosfato residual no povoado.

Em 2005, a Unidade de mineração Galvani deu início às suas atividades no povoado com o objetivo de produzir fertilizantes para a agricultura. Para dar início à extração, foi preciso desenvolver um método de concentração da rocha fosfática a seco, em decorrência da escassez de água que dificultava a extração. O método foi desenvolvido em parceria com o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) e o Ministério de Ciência e Tecnologia (ZARUR *et al.*, 2006), o que explica o intervalo de tempo desde a constatação da existência do minério na comunidade, até a sua exploração.

A instalação da mineradora no povoado proporcionou um aparente desenvolvimento, gerando empregos, renda e movimentando a economia local. Porém, ao mesmo tempo, trouxe problemas socioambientais, visto que a mineradora fica localizada muito próxima à comunidade.

Ao visitar a comunidade é possível perceber que a água da lagoa está afetada, uma das fontes de água que por muito tempo foi utilizada para criação de animais e até para consumo humano. A lagoa fica próxima à cerca que separa a área da

empresa e a comunidade e é possível observar nas suas margens uma fina camada de óleo na superfície da água. Em uma das visitas realizadas ao local foi localizado os restos de um *drone* na lagoa, aparelho que, segundo os moradores, costuma ser utilizado pela mineradora. Ainda segundo os moradores, a mineradora produz muita poluição sonora, seja através do uso de explosivos ou, mais frequentemente, por conta do ruído provocado pelo maquinário em operação na empresa.

A poluição do ar é observada com frequência a partir do material particulado lançado pela mineradora, fato este sendo constatado pelo grupo de pesquisa durante visita à comunidade e que muito preocupa os moradores da região. A empresa mantém um coletor ativo de material particulado dentro da comunidade que objetiva fazer um acompanhamento da qualidade do ar na região, entretanto, os membros da Associação Comunitária de Angico dos Dias e do Açú, relataram que raramente o dispositivo é ligado, e os resultados do monitoramento não são divulgados para a comunidade.

Além da poluição provocada pela atividade desenvolvida pela mineradora, há também interferência na forma de manejo dos animais, uma vez que a empresa foi instalada próxima a comunidades de fundo de pasto, definidas como comunidades que fazem uso coletivo de terras, que tem como objetivo a produção agropecuária, destacando-se a criação de animais de pequeno porte, como os caprinos (DIAS, 2013).

Embora existam diversos estudos que avaliem a composição química dos minérios da região de Angico dos Dias, (CARVALHO *et al.*, 2019; LOPES *et al.*, 1999; LUCIANO; GODOY, 2018) ou ainda que tratem de formas de melhor aproveitar os minerais extraídos (SANTOS, 2018), existem poucos estudos que avaliem os impactos ambientais provocados pela atividade extrativista desenvolvida na região.

Neste contexto, desde 2016 o projeto de extensão intitulado “**Fórum Permanente de Cartografia Quilombola: análise de impactos socioambientais e formação do Observatório Transversal da Caatinga**”, coordenado pelo professor Dr. Bernardo Curvelano Freire, do Colegiado de Antropologia da UNIVASF, tem buscado desenvolver atividades estratégicas no campo dos conflitos socioambientais provocados pela atividade mineradora na caatinga piauiense e baiana. Entre estas atividades destacam-se, dentro do contexto da química, a análise do material particulado eliminado durante o processo de extração mineral. Este tipo de análise torna-se relevante na medida em que deverá contribuir para estabelecimento de

parâmetros para avaliação do impacto ambiental provocado pela mineração em territórios da caatinga de um modo geral e na comunidade de Angico dos Dias em particular.

2 JUSTIFICATIVA

Apesar da existência de leis que determinem que as áreas degradadas pela mineração sejam recuperadas, os prejuízos ambientais são incalculáveis, atingindo negativamente pessoas e animais, desde o momento de sua instalação até depois que suas atividades se encerram. A atividade mineradora é responsável pela obtenção de minérios que se encontram no subsolo e sua extração pode liberar diversas substâncias além do minério desejado, e isso não difere com as rochas fosfáticas.

O fosfato apresenta baixa toxicidade, dessa forma na literatura existem poucos estudos sobre os efeitos do teor de fosfato em amostras de material particulado, fazendo com que normalmente os estudos se concentrem em avaliar a presença de metais ou outras substâncias que apresentem maior risco ao meio ambiente. A presença do fósforo por si só não se configura como um grande problema ambiental, porém, quando grandes quantidades de fósforo (nas suas mais variadas formas) atingem corpos d'água, ocorre um fenômeno conhecido como eutrofização. Na eutrofização o excesso de nutrientes como o fósforo pode provocar a proliferação excessiva de algumas espécies de algas e cianobactérias, colocando em risco outras espécies que habitam este ambiente (KLEIN; AGNE, 2012). Dessa forma, avaliar o teor de fósforo de solos e sedimentos em regiões próximas a corpos d'água também se torna importante, visto que os sedimentos são mais estáveis para avaliação, pois acumulam os materiais sólidos que entram em contato com a água e se depositam por ação da gravidade (MARTINS *et al.*, 2017).

Embora a eutrofização não seja um grande problema em regiões secas como o semiárido nordestino, não há estabelecido um limite seguro para a quantidade de fósforo que pode estar presente no material particulado lançado por mineradoras em regiões vicinais às minas. O monitoramento da quantidade de fósforo no material particulado pode contribuir para identificar eventuais danos provocados pela extração de minerais fosfatados, e também para ser estabelecido um limite seguro que possa guiar novas políticas públicas de proteção ao meio ambiente.

Sendo assim, este trabalho busca determinar o teor de fósforo em material particulado coletado próximo à mina de extração de fósforo, além de avaliar os níveis de fósforo em solo e no sedimento coletado na lagoa localizada na comunidade de Angico dos Dias. Este estudo pode fornecer informações que contribuam para

avaliação do impacto ambiental provocado pela atividade mineradora na região e também para a geração de um banco de dados comparativo ao longo dos anos.

3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é determinar o teor de fósforo inorgânico total presente no material particulado, no solo e no sedimento coletados no povoado de Angico dos Dias, no município de Campo Alegre de Lourdes – BA.

Os objetivos específicos são:

- Coletar amostra de material particulado no povoado Angico dos Dias;
- Determinar a concentração de fósforo inorgânico total presente no material particulado, sedimento e amostra de solo coletado em Angico dos Dias;
- Discutir os impactos ambientais causados pela mineração de fosfato;
- Fornecer dados referentes à qualidade do ar para a comunidade que reside em Angico dos Dias.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção está apresentado o referencial teórico referente ao tema da pesquisa. Ela é dividida em três tópicos que falam sobre material particulado, solo e sedimento, e o método do azul de molibdênio, sendo o método aplicado na análise de fósforo.

3.1 MATERIAL PARTICULADO

A atmosfera é composta majoritariamente pelos gases nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2), sendo constituída minoritariamente por outros gases como o argônio, o dióxido carbônico (CO_2) e o vapor de água, dentre inúmeros outros. Esses componentes mesmo que presente em menor quantidade, quando alterados se tornam responsáveis pela poluição atmosférica (ROCHA *et al.*, 2004). Além dos gases, na atmosfera podem ser encontrados partículas sólidas e/ou líquidas em suspensão no ar, denominadas material particulado (MP) (BAIRD; CANN, 2002).

Essas partículas podem ser emitidas por fontes naturais ou antrópicas. Dentre as fontes naturais estão ressuspensão de poeira do solo, as erupções vulcânicas, incêndios naturais, o pólen das plantas, vírus, bactérias, *sprays* marinhos. As fontes antrópicas estão associadas a queima de combustíveis, como os derivados de petróleo, moagem de pedras, como na mineração e em processos industriais, como na produção de cimento. As diferentes fontes de emissão, refletem no tamanho das partículas, que na perspectiva da saúde humana são divididas em partículas inaláveis e respiráveis. As partículas inaláveis tendem a ficarem retidas no trato respiratório superior, passando pelas cavidades nasais até chegar na laringe, e as respiráveis conseguem penetrar nos pulmões, provocando assim danos à saúde (BAIRD; CANN, 2002). O MP também causa efeitos na atmosfera, interferindo na visibilidade, diminuindo a quantidade de radiação solar que chega no solo, condensando vapor e formando nuvens que interfere diretamente na quantidade de chuva, seja aumentando ou reduzindo (ROCHA *et al.*, 2004).

Diante dos problemas que podem ser causados por MP, diversos estudos buscam avaliar sua concentração no ar e sua composição. Normalmente os trabalhos buscam identificar a presença de elementos traço no MP, como Cd, Pb, As, Fe, Cu, Mn, Al, entre outros, pois alguns desses elementos são potencialmente tóxicos para

os seres humanos (MIMURA *et al.*, 2017; BRAIT; ANTONIOSI FILHO, 2010). Normalmente, esses estudos são desenvolvidos em áreas que possuem um grande fluxo de veículos e/ou possuem atividades industriais, por serem as principais fontes antropogênicas de emissão de MP.

Para realizar essas análises o MP é coletado em amostradores. Os trabalhos podem utilizar dois tipos de amostradores, os ativos e os passivos. O coletor ativo é um amostrador que funciona ligado a uma bomba de vácuo, na qual o ar é aspirado para dentro do aparelho. Nos amostradores passivos o MP é depositado no filtro pela ação da gravidade, possuem um melhor custo/benefício, não precisam de energia, e de aparelhagem sofisticada e podem ser construídos com materiais de baixo-custo. A taxa de deposição seca (referente ao MP) do amostrador passivo é expressa em kg por km² por dia (MIMURA *et al.*, 2017; MELCHERT; CARDOSO, 2006).

Após coletadas, as amostras devem passar por uma etapa de preparo para se adequarem a técnica analítica apropriada para análise dos analitos. O MP é uma amostra sólida, por essa razão deve passar por uma etapa prévia de digestão ou extração, sendo comum o uso de ácidos minerais, como HCl, H₂SO₄, HNO₃, HF e HClO₄. Esse método de extração pode levar tempo e necessitar de uma maior quantidade de reagentes, gerando assim mais resíduos, dessa forma outros métodos vêm sendo investigados, como o uso de forno de micro-ondas e banho ultrassônico (MIMURA *et al.*, 2017).

3.2 SOLO E SEDIMENTO

O solo é o resultado das interações entre as quatro esferas terrestres, litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera. Ele é composto por três fases, a fase sólida, líquida e gasosa, e é essencialmente constituído por minerais, principalmente minerais silicatados, matéria orgânica, água, ar, pequenos animais e microrganismos (ROCHA *et al.*, 2004; BAIRD *et al.*, 2002).

Análises de fósforo em solo são bastante comuns, uma vez que é um elemento indispensável para o desenvolvimento das plantas. Esse elemento é considerado um macronutriente e sua concentração no solo depende das características físico-químicas de cada solo. Por esse motivo, análises de fósforo são muito empregadas na agricultura, pois fornecem informações que permitem que seja feita a devida correção do solo por meio da adubação (PEREIRA, 2009). O fósforo

absorvido pelas plantas é disponibilizado pela solução do solo, ou seja, pela fase líquida, na qual o fósforo apresenta concentração entre 10^{-5} a 10^{-6} mol L⁻¹ (ROCHA *et al.*, 2004). No entanto, é importante que o fósforo em solução esteja em equilíbrio com a fase sólida (MARCOLAN, 2006).

Os sedimentos são originados de intemperismos, e erosão de rochas e solo, cujos fragmentos são transportados pelo vento, água e outros agentes, podendo se depositarem no fundo dos corpos d'água (BAIRD *et al.*, 2002; GONÇALVEZ; FERNADES, 2017). Segundo Martins *et al.* (2017) estima-se que a maioria das substâncias que entram em contato com os rios, lagos, mares, e os outros diversos sistemas aquáticos são armazenadas nos sedimentos. Para os sistemas aquáticos os sedimentos têm um papel importante, pois são um compartimento que transfere e acumula metais, compostos orgânicos não solúveis e nutrientes. Dessa forma são considerados uma parte ativa desses sistemas, que, além de acumular esses materiais, os disponibilizam novamente para a biota aquática (SILVERIO, 2003, MARTINS *et al.*, 2017). Esses materiais presentes nos corpos hídricos podem ter origem natural ou antrópica, sendo provenientes principalmente de atividades agrícolas e mineração.

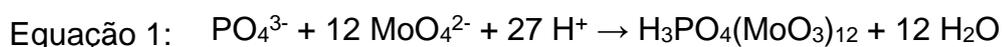
Dessa forma, o sedimento pode ser utilizado como um indicador ambiental, pois pode acumular contaminantes, como elementos-traço e agrotóxicos, além de apresentar dados mais estáveis a respeito da presença dessas substâncias e sobre os efeitos da contaminação causada por elas (MARTINS *et al.*, 2017). O fósforo nos sedimentos e nos solos podem ter diversas origens, como de rochas e da decomposição de compostos orgânicos, como plantas e esterco (DEVOS, 2017). Em razão disso, esse elemento é empregado em estudos arqueológicos, como indicador de ocupação humana, estudos em que o fósforo possa ser um indicador de contaminação, ou ainda para avaliar a qualidade de águas próximas a esgotos domésticos e efluentes industriais.

3.3 MÉTODO DO AZUL DO MOLIBDÊNIO

O método do azul de molibdênio é um método colorimétrico que se baseia na absorção da luz visível (HARRIS, 2012). Ele consiste no meio mais utilizado para determinação do íon fosfato, devido à sua alta sensibilidade (ESTELA; CERDA, 2005). Esse método pode ser empregado no monitoramento das condições ambientais de

rios próximos a áreas industriais (LI *et al.*, 2022), como também na determinação de fósforo no solo, disponível para as plantas. Normalmente essa metodologia é empregada para análises em água, solo e sedimento, devido aos problemas e aos benefícios propiciados pelo fósforo presente nesses compartimentos ambientais. No entanto, segundo Estela e Cerda (2005) determinar fósforo no aspecto nutricional e clínico também é importante.

O método consiste na formação do complexo fosfomolibdico, a partir da reação entre o ânion fosfato e molibdato, em meio ácido (equação 1).



O complexo formado é submetido a uma reação de oxirredução, na qual o molibdênio é reduzido e passa do estado +6 para o +5. Normalmente o agente redutor utilizado é o ácido ascórbico (equação 2) e para acelerar a reação de redução o antimônio (Sb) é utilizado. A partir da revisão realizada por Nagul *et al.* (2015) é proposto que o azul de molibdênio não se refere a uma única espécie e sim a um grupo de compostos, assim a composição do complexo ainda é incerta. Alguns pesquisadores sugerem a fórmula $[\text{H}_4\text{PMo(VI)}_8\text{Mo(V)}_4\text{O}_{40}]^{-3}$, porém não há um consenso quanto essa composição.



O complexo reduzido apresenta coloração azul, proporcional a concentração de íons fosfato. A intensidade da coloração é medida via espectrofotometria na região ultravioleta e visível (UV-vis). O comprimento de onda utilizado para realizar a medida vai ser determinado de acordo com os reagentes utilizados. Quando o cloreto estano (SnCl₂) é utilizado como agente redutor, a análise apresenta maior absorção em 720 nm (NAGUL *et al.*, 2015). Murphy e Riley (1962) apontam que na presença de Sb a máxima absorção do azul de molibdênio é em aproximadamente 880 nm. Esses autores descrevem a metodologia para determinar fosfato em água do mar.

Cavalcante e Lage (2007) adaptaram esse método para análise de fósforo em sedimento arqueológico, como indicador de atividade humana pré-histórica. Eles otimizaram e validaram o método de Murphy e Riley (1962). A principal diferença entre as duas metodologias é referente à amostra utilizada. Dessa forma os autores descrevem como extrair o fósforo de amostras sólidas e insolúveis, bem apontam qual

o melhor extrator para esse processo, visto que para determinar fósforo, normalmente é necessário que as amostras estejam em solução (ESTELA; CERDA, 2005).

Assim como Cavalcante e Lage (2007) esse trabalho também busca determinar fósforo em amostras que precisam passar pela etapa de preparo. Eles estudaram as melhores condições para extração de fósforo, como tempo e o melhor ácido extrator. Dessa forma, a metodologia apresentada pelos autores se aplica ao presente trabalho por se tratar de amostras semelhantes e apresentar condições possíveis de serem aplicadas à realidade do laboratório de química da UNIVASF.

5 METODOLOGIA

Nesta seção está descrito todo o procedimento metodológico realizado, desde a coleta das amostras até a análise.

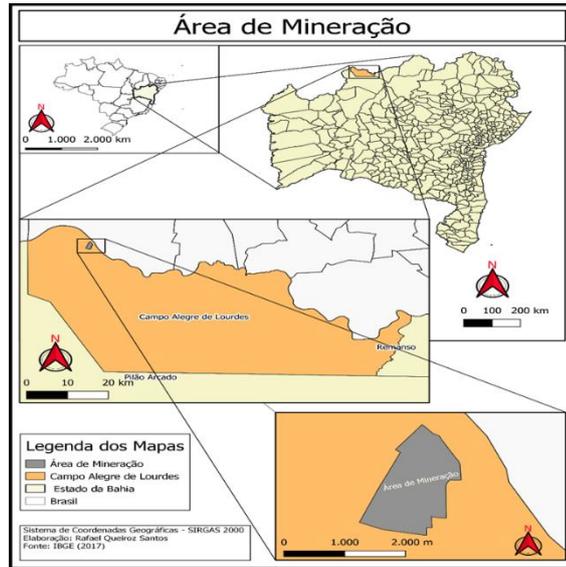
5.1 MATERIAIS E REAGENTES

Todas as vidrarias utilizadas no processo de preparo das soluções necessárias para análise foram previamente lavadas com solução de ácido nítrico (HNO_3), 10% (v/v), enxaguadas com água destilada e secas a temperatura ambiente. Os reagentes químicos utilizados foram todos de grau analítico (P.A).

5.2 COLETA DAS AMOSTRAS

As amostras de MP foram coletadas em dois pontos no povoado Angico dos Dias-BA: o ponto P₁ (localização: 9°19'54"S 43°23'53"W) se encontra dentro da comunidade, na residência do Sr. Edinei Dias Soares, colaborador do projeto, e o ponto P₂ (localização: 9°19'00"S 43°24'29"W) localizado em uma área próxima aos limites da propriedade da mineradora, a Figura 1 representa a área de mineração no povoado, esse ponto foi escolhido estrategicamente, devido ao vento se mover nessa direção. O terceiro ponto de coleta P₃ (localização: 8°57'22"S 42°42'44"W) está localizado na zona rural do município de São Raimundo Nonato – PI, sendo utilizado como referência para comparação.

Figura 1 – Mapa da área de mineração em Angico dos Dias.



Fonte: Santos, 2023.

Para coletar o material particulado foi construído um coletor passivo, seguindo o modelo desenvolvido por um grupo de pesquisa de Química Analítica da Universidade Federal de Juiz de Fora (MIMURA *et al.*, 2017) conforme a Figura 2. O coletor foi construído com galão de água mineral, cano e conexões de Policloreto de vinila (PVC), conforme Figura 3.

Figura 2 - Coletor para amostras de Material Particulado.

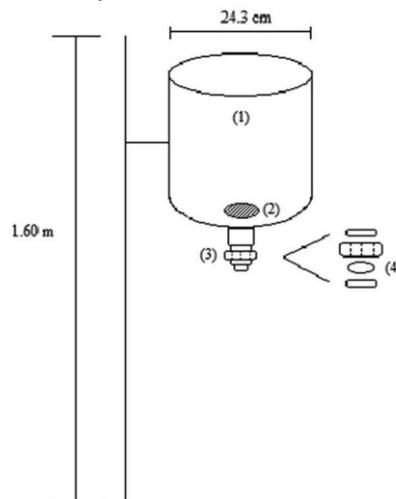


Fig. 1 Amostrador passivo DPM. (1) Funil de polipropileno, (2) peneira plástica de 500 μm , (3) tubos de policloreto de vinila e (4) filtro de acetato de celulose, 47 mm de diâmetro, poro de 0,80 mm, entre as conexões dos tubos.

Fonte: Mimura *et al.*, 2017.

O filtro utilizado para coletar as amostras (inserido entre as conexões dos tubos) é de acetato de celulose de diâmetro 47 mm e poro de 0,45 μm . A coleta foi

realizada mensalmente de janeiro a julho de 2022. Antes de adicionar os filtros nos coletores, eles foram secos em estufa e previamente pesados um a um em placa de Petri, utilizando a balança semi-analítica e levados até os pontos de coleta. Depois de coletados, os filtros contendo MP depositado foram armazenados em placas de Petri e previamente secos em estufa, até eliminar toda umidade. Depois de secos foram novamente pesados. A massa de MP foi determinada pela diferença da massa do filtro antes e depois da coleta.

Figura 3 – Coletores instalado nos pontos P₁ e P₂.



Fonte: Foto registrada pela autora, 2022.

A amostra de solo foi coletada próxima a cerca que delimita a área da mineradora, a aproximadamente 50 metros do coletor do ponto P₂. A amostra de sedimento foi coletada à margem da lagoa localizada dentro da comunidade, esta lagoa está ao lado da cerca que separa a comunidade da área da mineradora. Para obtenção desses materiais, a coleta foi realizada com o auxílio de uma espátula e as amostras foram armazenadas em sacos plásticos. No laboratório elas foram secas no ar a temperatura ambiente e depois na estufa. Após eliminar toda umidade as amostras foram peneiradas, em peneiras com aberturas de 0,5 mm a fim de eliminar todos os materiais de granulometria elevada e por fim foram armazenadas em potes plásticos, devidamente limpos e secos.

5.3 MÉTODO DE EXTRAÇÃO PARA ANÁLISE

O método de extração e análise do teor de fósforo utilizado seguiu a metodologia analítica validada por Cavalcante e Lage (2007) adaptada da metodologia de Murphy e Riley (1962). As amostras foram submetidas ao processo

de extração de fósforo com ácido clorídrico (HCl) para obtenção do teor de fósforo inorgânico total. As amostras de solo, sedimento e os filtros contendo MP foram pesados e sobre eles foram adicionados 20 mL de HCl 1,0 molL⁻¹.

Foram preparadas oito amostras entre solo, sedimento e MP, conforme Tabela 1. Para determinar a massa das amostras de MP necessária para realização das análises, foram realizados alguns testes utilizando amostras de sedimento e solo que estavam disponíveis no laboratório. A partir dos resultados desses testes e da quantidade de MP coletada, verificou-se a necessidade de unir os filtros coletados em diferentes meses, obtendo assim massa suficiente de MP para realização da análise. Com a união dos filtros foram obtidas duas amostras de MP para os três pontos de coleta, sendo a amostra A1 referente aos meses de janeiro, fevereiro e março de 2022 e a amostra A2 referente aos meses abril e maio.

Tabela 1 - Massa das amostras analisadas.

Amostras		Massa (g)	
Solo		0,555	
Sedimento		0,106	
MP	A1	P ₁	0,170
		P ₂	0,252
		P ₃	0,062
	A2	P ₁	0,108
		P ₂	1,186
		P ₃	0,017

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Após a adição do ácido, as amostras ficaram em repouso em contato com a solução extratora por aproximadamente 20 horas. Após esse tempo foram centrifugadas numa centrífuga da marca Centribio, por 10 minutos a 3000 (rpm). Acabando esse processo, as soluções foram filtradas e armazenadas em tubos Falcon até o momento da análise.

5.4 ANÁLISE DE FÓSFORO

A determinação do teor de fósforo foi realizada utilizando o método do azul de molibdênio. Inicialmente foi construída a curva analítica de fósforo. Para essa etapa foi preparada a solução estoque de fósforo $3,0970 \text{ mgL}^{-1}$ a partir do fosfato de potássio monobásico (KH_2PO_4 , Proquímios).

A solução de ácido ascórbico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$, Isofar), foi preparada em banho de ultrassom para garantir a total dissolução do ácido e assim atingir a concentração de $1,14 \text{ molL}^{-1}$. Após esse processo foi adicionado ao ácido ascórbico 25 mL de solução de H_2SO_4 $4,5 \text{ molL}^{-1}$.

A solução de molibdato de amônio [$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, Synth] $0,0674 \text{ molL}^{-1}$ foi acidificada com 70 mL de H_2SO_4 $4,5 \text{ molL}^{-1}$, totalizando assim 100 mL de solução. Também foi preparada uma solução de tartarato de antimônio e potássio ($\text{K}_2(\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_6\text{Sb})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, Dinâmica-Química contemporânea) de concentração $0,0374 \text{ molL}^{-1}$.

Por último, a solução denominada “*mix*” foi preparada pela mistura de 4 mL da solução de tartarato de antimônio e potássio e 100 mL da solução de molibdato de amônio.

Os padrões da curva analítica foram preparados em balões volumétricos de 100 mL. As concentrações de fósforo das soluções padrões variaram de $0,1547$ a $0,7794 \text{ mgL}^{-1}$. Para realizar a análise foram pipetados 10 mL de cada padrão e adicionado 0,20 mL de ácido ascórbico e 0,20 mL da solução *mix*. O branco foi preparado com 10 mL de água destilada e adicionado 0,20 mL de ácido ascórbico e 0,20 mL da solução *mix*.

Para a análise das amostras foram pipetados 10 mL das soluções obtidas no processo de extração com HCl e foram adicionados ácido ascórbico e solução *mix*, nas mesmas quantidades usadas nos padrões e no branco.

Posteriormente todos os padrões, o branco e as amostras foram aquecidas em banho termostático por 10 minutos a uma temperatura que variou entre 50°C e 60°C . Após esse tempo as soluções foram resfriadas até temperatura ambiente e a análise foi realizada via espectrofotometria UV-vis, em 880 nm no espectrofotômetro da Nova Instruments model 1600uv.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras de MP foram coletadas mensalmente de janeiro a julho de 2022. A massa dos filtros antes e depois da coleta, a massa de MP e a deposição seca diária estão apresentados na Tabela 2. A deposição seca diária se refere a quantidade de massa de MP depositado, por área do coletor, durante os dias que o MP foi coletado.

Tabela 2 – Massa dos filtros antes e depois da coleta, massa de MP e deposição seca diária.

Mês	Pontos de coleta	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Massa de MP (g)	Deposição seca diária (kg km ⁻² dia ⁻¹)
Janeiro	P ₁	0,061	0,098	0,037	24,94
	P ₂	0,063	0,092	0,029	19,55
	P ₃	0,075	0,086	0,011	7,42
Fevereiro	P ₁	0,071	0,130	0,059	42,43
	P ₂	0,069	0,133	0,064	46,02
	P ₃	0,065	0,100	0,035	25,17
Março	P ₁	0,066	0,140	0,074	49,89
	P ₂	0,068	0,263	0,159	131,46
	P ₃	0,062	0,078	0,016	10,79
Abril	P ₁	0,058	0,122	0,064	41,84
	P ₂	0,068	0,635	0,567	370,67
	P ₃	0,060	0,070	0,010	6,54
Maio	P ₁	0,056	0,100	0,044	28,76
	P ₂	0,063	0,682	0,619	404,66
	P ₃	0,070	0,077	0,007	4,58
Junho	P ₁	0,070	0,095	0,025	18,60
	P ₂	—	—	—	—
	P ₃	0,063	0,073	0,010	7,44
Julho	P ₁	0,059	0,109	0,050	23,97
	P ₂	—	—	—	—
	P ₃	0,070	0,071	0,001	0,48

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

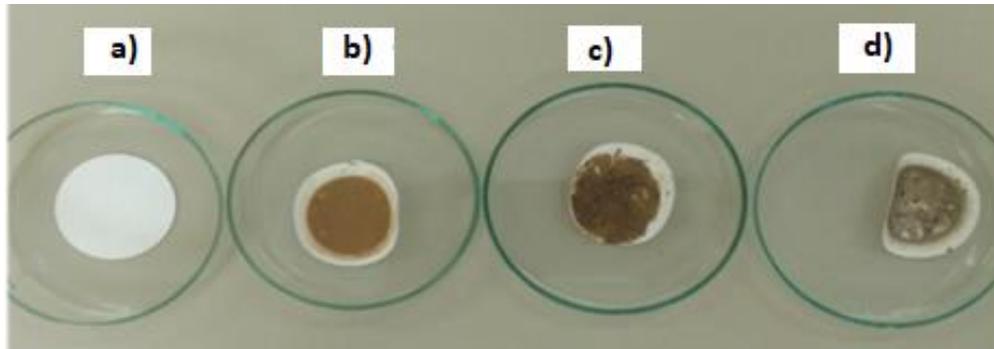
No ponto P₂, a massa de MP coletada e a deposição seca diária foi maior em todos os meses a partir de fevereiro, do que no ponto P₁. Essa diferença do ponto P₂ para o ponto P₁ tem relação com a região de coleta, tendo em vista que o ponto P₂ está localizado mais próximo da mineradora, ficando mais exposto à liberação de MP, enquanto que o P₁ fica mais distante. Esses dados já eram esperados visto que o vento vai em direção ao ponto P₂, essa informação pode ser confrontada com a localização do coletor ativo da mineradora, que se encontra dentro da comunidade, ou seja, mais próximo do ponto P₁ que apresentou menor quantidade de MP.

Além disso, observa-se que no ponto P₂ a deposição seca diária aumenta a cada mês, o que não ocorre sistematicamente nos pontos P₁ e P₃. O aumento da deposição seca diária pode estar relacionado com a mudança nas condições atmosféricas ao longo do ano. Conforme Leite (1997) o período chuvoso na região vai de dezembro a março, assim, em tempos de seca a dispersão de MP pode ser maior. Outro fator que pode explicar o aumento da deposição seca diária observado, pode estar relacionado com o aumento da atividade da mineradora, devido a diminuição das chuvas.

Independentemente dos motivos que levam o aumento da deposição seca diária no ponto P₂, os dados da Tabela 2 mostram que este ponto é mais suscetível à sazonalidade do que os pontos P₁ e P₃. Quando se considera que o ponto P₂ é uma região de pastagem, fica evidente que a elevada deposição de MP nesta região pode trazer consequências para a vegetação e para a criação animal, afetando o modo de produção dos moradores das comunidades ao redor da mineradora.

Comparando os dois pontos de coleta em Angico dos Dias com o ponto P₃, localizado em uma região onde não há atividade mineradora, é possível notar uma grande diferença na deposição seca diária de MP, o que indica uma relevante participação da atividade mineradora na emissão de MP. Na Figura 4, estão representados os filtros contendo MP nos três pontos de coleta.

Figura 4 – Filtros de acetato de celulose usados na coleta de material particulado: a) filtro novo, b) filtro após a coleta dentro da comunidade, c) filtro após a coleta atrás da mineradora e d) filtro após a coleta em São Raimundo Nonato.

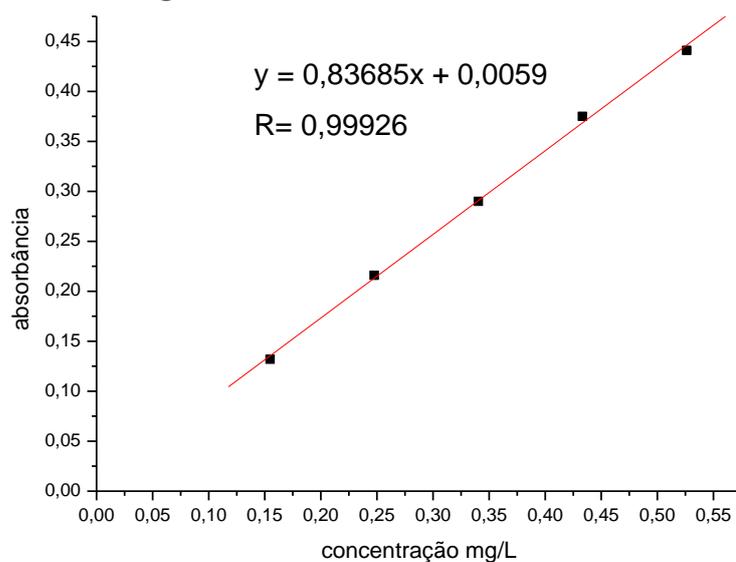


Fonte: Almeida, 2022.

A coleta das amostras seria realizada durante o período de um ano, porém a partir de junho não foi possível fazer a coleta no ponto P₂, pois o coletor foi furtado do local. Um novo coletor ainda foi instalado, porém, devido à falta de recursos disponíveis não foi possível realizar a coleta dos filtros nos meses seguintes, o que prejudicou a continuidade da pesquisa.

Na figura 5 está representada a curva analítica utilizada nas análises de fósforo. A curva apresenta um bom coeficiente de correlação, apresentando o valor de 0,99926, demonstrando assim possuir uma boa linearidade dentro da faixa de concentração estudada.

Figura 5 – Curva analítica de fósforo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

Na Tabela 3 estão apresentadas a deposição seca diária e a quantidade de fósforo nas amostras de MP, analisadas em cada período e região de coleta

Tabela 3 – Massa e deposição diária de fósforo das amostras de MP.

Amostras	Massa de fósforo (μg)	m^2	Dia	Deposição seca diária de fósforo ($\mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)		
MP	P ₁	0,574	0,046	94	0,132	
	A1	P ₂	1,867	0,046	94	0,428
		P ₃	0,425	0,046	94	0,098
	A2	P ₁	1,618	0,046	66	0,529
		P ₂	14,021	0,046	66	4,583
		P ₃	0,475	0,046	66	0,155

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

A quantidade de fósforo presente nas amostras A2 são maiores que nas amostras A1 para todos os pontos, o que corrobora com os dados já discutidos para o MP que em períodos de seca a dispersão de MP é maior, do que comparado a períodos em que há uma maior quantidade de chuvas. A deposição seca diária de fósforo nas amostras A2, coletadas nos pontos P₁ e P₂ foram, respectivamente, 70,7% e 96,6%, maior que a deposição seca diária de fósforo na amostra A2, coletada no ponto P₃. Esse dado confirma a contribuição da atividade mineradora na emissão de MP contendo fósforo em razão da grande diferença dos valores encontrados em Angico dos Dias e no ponto de referência (São Raimundo Nonato). A deposição seca diária de fósforo no ponto P₃ deve ser derivada de outras fontes que não a de mineração, provavelmente fontes naturais.

Na Tabela 4 estão apresentados os dados referentes as amostras de solo e sedimento, como a massa e a concentração de fósforo nas amostras analisadas.

Tabela 4 – Teor de fósforo nas amostras de solo e sedimento.

Amostras	Massa de fósforo (mg)	Concentração de fósforo (mg kg^{-1})
Solo	0,009940	18,01
Sedimento	0,000997	9,40

Fonte: Elaborada pela autora, 2022.

A concentração de fósforo no solo é o dobro da encontrada no sedimento, fato que pode estar relacionado ao local de coleta das amostras e o tipo de ambiente em que cada uma se encontra. No caso da amostra de solo, a coleta foi feita em área próxima à região de descarte de resíduos da mineradora, o que significa que esta amostra pode ter origem em camadas mais profundas do solo onde a concentração de fósforo é maior. No caso da amostra de sedimento, não se pode afirmar sobre contaminação da lagoa com fósforo oriundo da mineradora não pode ser feito, uma vez que a lagoa já era utilizada por animais que regularmente defecam na região. De qualquer modo fica evidente que o solo, na região mais próxima à mineradora, apresenta maior contaminação e isso deve se refletir na presença de outros elementos como os metais presentes nas rochas fosfatadas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A coleta do MP no povoado Angico dos Dias foi realizada durante o período de 7 meses e a determinação da concentração de fósforo nas amostras de MP, solo e sedimento foram realizadas no laboratório da Universidade Federal do Vale do São Francisco-UNIVASF, campus Serra da Capivara. Ao longo do trabalho foram discutidos sobre os impactos ambientais causados pela mineração de fosfato, como a dispersão de MP que pode se configurar um problema ambiental e de saúde. Essa discussão será fornecida para a Associação Comunitária de Angico dos Dias e do Açú e assim para a comunidade que reside no povoado.

O estudo do MP indica que as variações na quantidade de MP ao longo dos meses podem estar relacionadas com a diminuição das chuvas e mudanças nas condições atmosféricas, ou ainda alteração na atividade da mineradora, o que reflete nos teores de fósforo encontrados nas amostras analisadas. Outro fato constatado ao comparar a quantidade de MP e de fósforo nos três pontos de coleta é a influência da atividade mineradora na emissão dessas partículas. Os pontos P₁ e P₂ apresentaram maior concentração de fósforo quando comparados ao ponto de referência P₃, localizado em região onde não há mineração. Estes dados indicam que de fato a atividade mineradora atua como uma fonte de poluição atmosférica em Angico dos Dias.

A dificuldade de se obter amostras em quantidade suficiente para análise de fósforo do MP indica que o ideal seria utilizar mais de um coletor para o mesmo ponto de coleta ou um filtro com diâmetro maior, para assim obter amostras de MP em quantidade suficiente para realização das análises. Além da dificuldade relacionada à quantidade de MP coletada, a interferência causada pelo furto do coletor acabou por restringir a pesquisa, que deveria fornecer informações pelo período de um ano.

A análise de solo e sedimento apontou que a quantidade de fósforo no solo é maior do que no sedimento, possivelmente por serem amostras de ambientes diferentes. A concentração de fósforo em solos varia de acordo com o tipo de solo, com a fonte origem do fósforo que se encontra nesse ambiente além de outros fatores físico-químicos. A amostra de solo analisada foi retirada de região próxima à mineradora, contudo, como não foi realizada análise de outra amostra de solo do mesmo tipo, mas coletada de um local longe da mineradora, não é possível afirmar se a quantidade encontrada está acima do normal para a região. Assim, para que se

tenha um panorama mais completo do impacto que a atividade mineradora está causando na região de Angico dos Dias, é necessário que mais estudos sejam realizados.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. S. de. **Filtros de acetato de celulose usados na coleta de material particulado: a) filtro novo, b) filtro após a coleta dentro da comunidade, c) filtro após a coleta atrás da mineradora e d) filtro após a coleta em São Raimundo Nonato.** 2022. 1 fotografia; color.
- BAIRD, C; CANN. M. **Química ambiental.** 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.
- BRAIT, C. H. H.; ANTONIOSI FILHO, N. R. Desenvolvimento e aplicação de sistema passivo de coleta de poluentes atmosféricos para monitoramento de Cd, Cr, Pb, Cu, Fe, Mn, Zn e particulados totais. **Química Nova**, [s.l.], v. 33, n. 1, p. 7-13, 2010. Disponível em: http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=4984. Acesso em: 20 dez. 2022.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 1, de 23 janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília-DF, 1986.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previsto no PRONAR. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília-DF, 1990.
- CARVALHO, J.A.E.; LIMA, S.B.; FERNANDES, I.R.; BRANDÃO, P.R.G.; HENRIQUES, A.B.; CANÇADO, R.Z. Caracterização mineralógica de minério fosfático do complexo de Angico Dias, Bahia. In: XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 28., Belo Horizonte, 2019. **Anais [...]** Rio de Janeiro, 2019.
- CAVALCANTE, L.C.D, LAGE, M.C., Santos, J. Estudo químico de sedimentos arqueológicos do Parque Nacional Serra da Capivara Piauí - Brasil. **Fundamentos**, [s.l.], v. 6, n. 1, p.106-114, 2007.
- DEVOS, Y. Near total and inorganic phosphorus concentrations as a proxy for identifying ancient activities in urban contexts: the example of dark earth in Brussels, Belgium. **Geoarchaeology**, [s.l.], v. 33, n. 4, p. 470-485, 10 dez. 2017.
- DIAS, S. C. S. Trajetória dos Fundos de Pasto na Bahia. In: VI Encontro Estadual de História-ANPUD/BA, 6., Ilhéus, 2012. **Anais [...]**. Bahia, 2013. p. 8. Disponível em: https://geografar.ufba.br/sites/geografar.ufba.br/files/2013_dias.pdf. Acesso em: 12 nov. 2022.
- DISSANAYAKE, C.B.; CHANDRAJITH, R. Phosphate mineral fertilizers, trace metals and human health. **Journal Of The National Science Foundation Of Sri Lanka**, v. 3, n. 37, p. 153-165, 26 set. 2009.
- ESTELA, J; CERDA, V. Flow analysis techniques for phosphorus: an overview. **Talanta**, [s.l.], v. 66, n. 2, p. 307-331, 15 abr. 2005. Elsevier BV. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0039914004007325>. Acesso em: 04 dez. 2022.

GONÇALVES, V. D; FERNANDES, C. V. S. Interação água – sedimento e sua importância para o entendimento dos processos de poluição: estudo de caso seção fluvial do rio Iguaçu, Bacia do Alto Iguaçu. **Ambiência**, [s.l.], v. 13, n. 3, p. 583-599, 2017. Disponível em: [Interação água – sedimento e sua importância para o entendimento dos processos de poluição: estudo de caso seção fluvial do rio Iguaçu, Bacia do Alto Iguaçu Interaction water - sediment and its importance for understanding pollution processes: case study fluvial section of the Iguaçu river, Iguaçu River Watershed | Gonçalves | AMBIÊNCIA \(unicentro.br\)](#). Acesso em: 12 nov. 2022.

GREENWOOD, N.N.; EARNSHAW, A. **Chemistry of the Elements**. 2. ed. Oxford: Butterwoth-Heinemann,1997.

HARRIS, D. C. **Análise Química Quantitativa**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

KAHN, H.; CASSOLA, M. S.; OBA, C. A. I.; LIBERAL, G. S. E.; RIFFEL, B. F. Caracterização tecnológica do minério residual de fosfato de Angico dos Dias, BA. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E HIDROMETALURGIA, 14., Salvador, 1990. **Anais [...]**. Salvador: ABM, 1990. p. 196-211.

KLEIN, C.; AGNE, S. A. A. Phosphorus: from the nutrient to pollutant!. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S. l.], v. 8, n. 8, p. 1713–1721, 2013. DOI: 10.5902/223611706430. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/6430>. Acesso em: 12 agos. 2023.

LEITE, C. M. M. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Campo Alegre de Lourdes, Folha SC.23-X-D-I: Estado da Bahia**. Brasília: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1997.

LI, T.; ZHOU, P.; DING, Y.; TANG, Q.; ZHOU, S.; LIU, Y. Distribution Characteristics and Source Analysis of Nitrogen and Phosphorus in Different Rivers in Two Water Period: a case study of pi river and shiting river in the upper reaches of tuo river in china. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, [s.l.], v. 19, n. 19, p. 12433, 29 set. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/19/12433>. Acesso em: 28 nov. 2022.

LOPES JR., D. Q.; ALCOVER NETO, A. Caracterização tecnológica do minério fosfático de Angico dos Dias/Caracol (BA/PI). In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 07., 1999, Rio de Janeiro. **Anais [...]** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 1999.

LOUREIRO, F. E. L; MONTE, M. B. M. de; NASCIMENTO, M. Fosfato. In: Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações. Rio de Janeiro: Cetem, 2005. p. 141-171.

LUCIANO, R.L; GODOY, A. M. Litogeoquímica e Química Mineral das Rochas Metacarbonatíticas de Angico dos Dias, Divisa Bahia/Piauí, Brasil. **Geociências**, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 99-119, 4 abr. 2018.

MARCOLAN, A. L. **Suprimento e absorção de fósforo em solos submetidos a diferentes sistemas de preparo**. 2006. 124 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/8676>. Acesso em: 26 jan. 2023.

MARTINS, R. O.; HOFF BRAIT, C. H.; SANTOS, F. F. Dos. Avaliação do teor de metais pesados e de parâmetros físico-químicos da água e sedimento do Lago Bonsucesso, Jataí – GO. **Geoambiente On-line**, Goiânia, n. 29, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/51072>. Acesso em: 04 jan. 2023.

MELCHERT, W. R.; CARDOSO, A. A. Construção de amostrador passivo de baixo custo para determinação de dióxido de nitrogênio. **Química Nova**, Belo Horizonte, v. 29, n. 2, p. 365-367, abr. 2006. Disponível em: http://quimicanova.s bq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=2444. Acesso em: 15 dez. 2022.

MIMURA, A. M. S.; FERREIRA, C. C. M.; SILVA, J. C. J. Fast and feasible sample preparation methods for extraction of trace elements from deposited particulate matter samples. **Analytical Methods**, Cambridge, v. 9, n. 3, p. 490-499, 2017.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Great Britain, n. 27, p. 31-36, 1962.

NAGUL, Edward A.; MCKELVIE, Ian D.; WORSFOLD, Paul; KOLEV, Spas D. The molybdenum blue reaction for the determination of orthophosphate revisited: opening the black box. **Analytica Chimica Acta**, [s.l.], v. 890, p. 60-82, ago. 2015. Disponível em: [A reação azul de molibdênio para a determinação de ortofosfato revisitado: Abrindo a caixa preta - ScienceDirect](#). Acesso em: 11 nov. 2022.

OTHMAN, I.; AL-MASRI, M. S. Impact of phosphate industry on the environment: a case study. **Applied Radiation And Isotopes**, [s.l.], v. 65, n. 1, p. 131-141, jan. 2007.

PEREIRA, H. S. Fósforo e potássio exigem manejos diferenciados. **Visão Agrícola**, [s. l.], v. 9, p. 43-46, jul. 2009. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA9-Fertilidade04.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2023.

QUEIROZ. P, G, M; JACOMINO. V, M, F; MENEZES. M, A, B, C. Composição Elementar do Material Particulado Presente no Aerossol Atmosférico do Município de Sete Lagoas, Minas Gerais. **Química Nova**, Belo Horizonte, v. 30, n. 5, p. 1233-1239, 2007.

ROCHA, J. C; ROSA, A. H; CARDOSO, A. A. **Introdução a química ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2004.

SABIHA-JAVIED; MEHMOOD, T.; CHAUDHRY, M.M.; TUFAIL, M.; IRFAN, N. Heavy metal pollution from phosphate rock used for the production of fertilizer in Pakistan. **Microchemical Journal**, v. 91, n. 1, p. 94-99, jan. 2009.

SANTOS, M. G. **Caracterização da Rocha Fosfática de Angico Dos Dias (BA) Visando a Recuperação de Cério, Lantânio e Neodímio**. 2018. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia- Escola Politécnica, Salvador, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/25699>. Acesso em 05 ago. 2022.

SANTOS, R. Q. **Mapa da área de mineração em Angico dos Dias**. 2022. 1 desenho técnico; color.

SILVERIO, P. F. **Bases técnico - científicas para a derivação de valores-guias de qualidade de sedimentos para metais**: experimentos de campo e laboratório. 2003. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: [Bases técnico - científicas para a derivação de valores-guias de qualidade de sedimentos... \(usp.br\)](#). Acesso em: 10 dez. 2022.

SOUZA, A.E; FONSECA, D.S. Fosfato. In: RODRIGUES, A.F.S. **Economia mineral do Brasil**. Brasília: DNPM, 2009. p. 546-568. Disponível em: 7-2-fosfato (www.gov.br). Acesso em: 27 de set. 2022.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral Commodity Summaries 2021**. Virginia: USGS, 2021.

ZARUR, M. B.; LIMA, F. M. R. S.; BERTOLINO, L. C. Análise da Incorporação da Prática de Sustentabilidade por Novos Empreendimentos Mineiro-Metalúrgicos na Região do SemiÁrido. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 14., 2006, Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2006.