



---

**CARACTERIZAÇÃO DE SEDIMENTOS NO IGARAPÉ MATO GROSSO, PORTO VELHO-RO, AMAZÔNIA OCIDENTAL POR ESPECTROSCOPIA DE RAIOS X**

SEDIMENT SOURCE CHARACTERIZATION OF SEDIMENTS, RIETVELD METHOD: IGARAPÉ MATO GROSSO, PORTO VELHO-RO, WESTERN AMAZON

**Selma Maria de Arruda Silva <sup>1</sup>**

**Adriana Cristina da Silva Nunes <sup>2</sup>**

**Jean Paolo Gomes Minella<sup>3</sup>**

**Michel Watanabe<sup>4</sup>**

**Dorisvalder Dias Nunes<sup>5</sup>**

**Mariangela Soares de Azevedo<sup>6</sup>**

**Fábio Luiz Melquiades<sup>7</sup>**

**Alexandre Pancotti<sup>8</sup>**

**Roniere Leite Soares<sup>9</sup>**

**Celso Pereira de Oliveira<sup>10</sup>**

---

<sup>1</sup>Doutoranda no Curso de Pós-Graduação Mestrado e Doutorado em Geografia da Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho: [selma.silva@saolucasjiparana.edu.br](mailto:selma.silva@saolucasjiparana.edu.br)

<sup>2</sup>Docente da Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho. E-mail: [adriananunes@unir.br](mailto:adriananunes@unir.br).

<sup>3</sup>Docente da Universidade Federal de Santa Maria - UFMS, E-mail: [jean.minella@ufms.br](mailto:jean.minella@ufms.br)

<sup>4</sup>Docente da Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho. E-mail: [michelwatanabe@unir.br](mailto:michelwatanabe@unir.br)

<sup>5</sup>Docente da Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho. E-mail: [dorisval@unir.br](mailto:dorisval@unir.br)

<sup>6</sup>Docente da Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho. E-mail: [mari@unir.br](mailto:mari@unir.br)

<sup>7</sup>Docente da Universidade Estadual de Londrina, Paraná. E-mail: [fmelquiades@uel.br](mailto:fmelquiades@uel.br)

<sup>8</sup>Docente da Universidade Federal de Jataí, Goiás. E-mail: [apancotti@gmail.com](mailto:apancotti@gmail.com)

<sup>9</sup>Docente da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba. E-mail: [ronieter@gmail.com](mailto:ronieter@gmail.com)

<sup>10</sup>Docente do Centro Universitário São Lucas de Ji-Paraná. Email: [celso.oliveira@saolucasjiparana.edu.br](mailto:celso.oliveira@saolucasjiparana.edu.br)

**RESUMO**

A análise detalhada de sedimentos tem papel importante para os ecossistemas aquáticos, podem caracterizar nutrientes que regulam a vida dos organismos vivos e inferir na qualidade ambiental. Este estudo teve como objetivo caracterizar possíveis fontes de sedimentos, sedimentos de fundo e sedimento em suspensão na bacia do Igarapé Mato Grosso com coletas em diferentes tipos e ocupação do solo. A ideia é compreender e gerar conhecimento sobre o papel que os sedimentos exercem em pesquisas ambientais. Foram realizadas 417 análises de nutrientes, granulometria, análise elementar por espectroscopia de fluorescência de raios X por energia dispersiva e análise cristalográfica por difração de raios X com método de Rietveld. O resultado granulométrico dominante foi arenoso. Teores de macronutrientes foram destaque no bairro Vila Princesa com a presença de P e K. A fluorescência de raios X identificou um total de 15 elementos. O método de Rietveld demonstrou a variação entre 2-7 fases cristalográficas para amostras de fontes de sedimento e sedimento de fundo. Conclui-se que a composição das amostras é constituída com base na característica geológica da Suite Intrusiva Santo Antônio evidenciada pela fase majoritária com alta concentração mássica de rubídio ou pode ter ainda em menor proporção, influência de ações antrópicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Amostrador integrado no tempo; Fluorescência de raios X; Difração de raios X.

**ABSTRACT**

Detailed sediment analysis plays important role in aquatic ecosystems, as it may characterize nutrients that regulate the life of living organisms and infer environmental quality. This study aimed characterize possible sources of sediments, bottom sediments and suspended sediment in the Mato Grosso stream basin with collections from different types and land occupation. The idea is to understand and generate knowledge about the role that sediments play in environmental research. Nutrient analysis, particle size analysis, elemental analysis with energy dispersive X-ray fluorescence spectroscopy and crystallographic analysis with X-ray diffraction were carried out using the Rietveld method. The dominant granulometric result was sandy. Macronutrient level revealed that the area of the Vila Princesa neighborhood had higher P and K levels. X-ray fluorescence identified a total of 15 elements. The Rietveld method demonstrated the variation between 2-7 crystallographic phases for sediment source and bottom sediment samples. It is concluded that the composition of the samples is based on the geological characteristic of the Santo Antônio Intrusive Suite, evidenced by the majority phase with a high mass concentration of rubidium or may even have, to a lesser extent, the influence of anthropic actions.

**KEYWORDS:** Time-integrated sampler, X-ray fluorescence; X-ray diffraction.

## INTRODUÇÃO

Os sedimentos tem origens em vários processos gerais e múltiplos do solo, reações químicas, físicas e biológicas organizados em quatro processos pedogenéticos principais, adição, remoção, translocação e transformação, importantes para a compreensão da geoquímica, a remoção é o processo que contribui diretamente para constituí-los. Muitos dos processos tem início pela mão do homem e são considerados fator de formação do solo, fatores antróficos, com a classificação *epipedon antrófico* (BRADY,1989; AZAMBUJA, 1996; PRIMAVESI, 2002).

As estradas não pavimentadas são exemplos da intervenção humana onde ocorrem processos de erosão e contribuem para a produção e aporte de sedimentos. Práticas antigas de corte e queima de manejo do solo com fogo contribuem para desagregação de macroagregados e microagregados mais finos (CUNHA, 2010; THOMAZ; PEREIRA, 2013; THOMAZ; PERETTO, 2016; THOMAZ, 2017; GONZALEZ, et at., 2018).

O assoreamento de corpos hidrúcos integra-se aos processos biológicos, físicos e químicos, exercem influência no metabolismo do sistema terrestre e aquático na ciclagem de matéria e fluxo de energia, enquanto a sedimentação ocorre devido a fenômenos naturais e antigos documentados pelo tempo geológico (TUCCI, 1993; CARVALHO, 2008; ESTEVES, 2011).

O comportamento erosivo dos sedimentos fluviais com base em propriedades abióticas e bióticas distinguem-se em dois grupos, coesos, considerados turvos e não coesos, arenosos. Nesses dois tipos de sedimentos, a erosão desagrega material particulado compostos por matéria orgânica, óxidos de ferro, alumínio e outros simentantes. O princípio da erosão ocorre com frequência em grupos de sedimentos lamacentos e com partículas menores mais fáceis de movimentar (JOENSUU et al., 2018).

Por adsorção os sedimentos fluviais carregam átomos, moléculas, íons, nutrientes para o leito dos cursos d'água contribuindo para torná-los verdadeiros reservatórios de nutrientes e poluentes que causam impacto na visibilidade e luminosidade da água prejudicando organismos filtradores e o ciclo de nutrientes.

Fontes de contaminantes estão relacionados a processos complexos e incluem despejo de esgoto doméstico sem tratamento, efeito de lavagem, *fist flush* que podem ascender do sedimento para a água devido alterações de pH e Efeito do Potencial Redox-Eh causando a perturbação no sistema aquático (POLETO, 2007; AGOSTINHO, POLETO, 2012; SILVA et. al., 2014).

O aporte de efluente e a variação do substrato geológico podem dificultar a correlação com a rocha fonte, mas a mineralogia e a química dos sedimentos podem ser aplicados, a princípio em grupos tidos como imóveis Al, Ti, Zr entre outros que são poucos fracionados no processo de intemperismo, concentrado mais em sedimento de fundo e sedimento em suspensão (QUEIROZ; HORBE; MOURA, 2011).

Países como EUA, Reino Unido, China, Austrália, Irã, Brasil, Espanha e França tem se destacado com fingerprinting para análise de sedimento entre 2013-2019. As pesquisas podem auxiliar políticas e estratégias para proteger tanto o solo como os recursos hídricos e a bacia hidrográfica permanece sendo vista como categoria de análise paisagística elementar, tanto para investigação científica dos sistemas sedimentares como para planejamento e formulação de gestão acertiva (CHAVES, 2010; COLLINS et al., 2020).

A conectividade da origem da erosão do solo com seus impactos nos cursos de água é governada por mecanismos complexos resultantes do comportamento hidrossedimentológico de cada bacia hidrográfica sob influencia do fator espacial e temporal, importantes para compreender processos de manejo e controle em pesquisas com sedimentos (MINELLA; WALLING; MERTEN, 2014; AMARAL et al., 2020; BURIOL; BULINGON; MINELLA, 2023).

A fração granulométrica fina composta por silte foi capaz de demonstrar área impactada por bauxita entre os lagos Batata e Mussura da bacia do rio Trombetas e associaram a granulometria fina com baixa riqueza de macroinvertebrados bentônicos através do padrão granulométrico, isso evidencia a importância das análises física do solo como classificação textural (CALISTO; ESTEVES, 1996; KOUMROUYAN; SANTANA, 2008).

Sedimentos a jusante de Jacareacanga-PA foram alterados por coloração amarelo brilhante pelo fluxo de atividade garimpeira e a modelagem demonstrou que impactos antrópicos pontuais exercem mais impactos a curto prazo do que as mudanças climáticas globais a longo prazo (SOUZA et al., 2023).

Impacto do desmatamento sobre o aporte de sedimentos em suspensão no rio

Mutum-Paraná-RO registrou amplitude na taxa de sedimento em suspensão entre bacia com uso do solo para pecuária e floresta. O maior impacto foi na bacia com atividade pecuária, fato que demonstra forte relação entre antropização e gradiente pluviométrico na produção de sedimento em suspensão (WATANABE, et al., 2018).

Mesmo com áreas abertas novos desmatamentos persistem no Estado de Rondônia e são registrados por Índice de Vegetação por Diferença Normalizada-NDVI com valores baixos para solo exposto e pastagens. No alto rio das Garças-RO ocorreu aumento do potencial hidrológico com canais efêmeros, a pesquisa revelou que quando há intersecção de estradas sobre canais de drenagem de 1ª e 2ª ordem, estes sofrem interferências no leito com aporte de sedimento (LENSE et al., 2021; CUNHA, et al., 2024).

Técnicas analíticas para determinação da composição elementar e das fases cristalinas dos sedimentos são aplicadas com o intuito de classificá-los e fornecer informações sobre sua composição química. Duas das técnicas amplamente aplicadas são Difração de Raios X (DRX) e a Fluorescência de Raios X (FRX). A FRX é uma técnica considerada não destrutiva, sem necessidade de fazer abertura de amostra e pode identificar e quantificar os elementos químicos presentes nas amostras. Quanto a DRX, é uma técnica utilizada para demonstrar a estrutura cristalina e quantificar as fases cristalográficas predominantes em um conjunto de amostras (THOMAZ; MELQUIADES, 2009; SOARES; CASTRO, 2018).

A DRX evoluiu até chegar ao refinamento de estrutura cristalina, como o método Rietveld, que demonstra resultados quantitativos quanto as fases de misturas complexas, que são realizadas com difração de raios X (CULLITY; STOCK, 2014; MARTELLI et al., 2021; DIB NETO et al., 2022).

Pesquisadores na área da geografia física utilizaram difração de raios X para analisar saprolito e caracterizar a mineralogia a partir de materiais intemperizados de diferentes rochas e inferir se o nível de resistência influi em menor alteração que pode ser explicada pela sua própria constituição geoquímica (PAULA; ROCHA, 2021).

O objetivo do artigo foi caracterizar sedimentos de fundo e sedimento em suspensão da bacia do Igarapé Mato Grosso-RO para identificar fonte de sedimento e contribuir com futuras pesquisas sobre a importância do sedimento como categoria de análise e como ferramenta que pode ser aplicada em planejamento e gestão ambiental.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

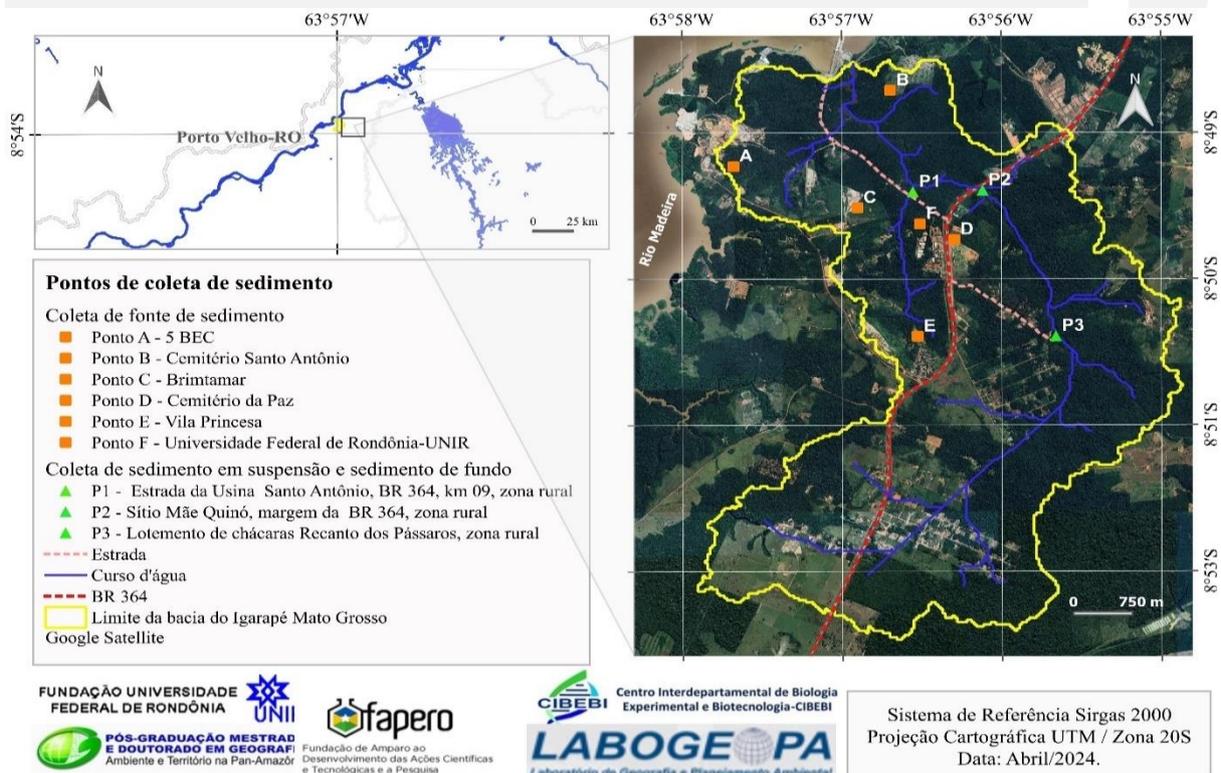
A bacia do Igarapé Mato Grosso foi delineada a partir de imagens SRTM: So8\_063\_1arc\_v3, So8\_064\_1arc\_v3; So9\_063\_1arc\_v3, So9\_064\_1arc\_v3, So9\_065\_1arc\_v3; S10\_064\_1arc\_v3, S10\_065\_1arc\_v3, S10\_066\_1arc\_v3, S10\_067\_1arc\_v3 de onde foram extraídas a rede de drenagem.

O download foi feito do United States Geological Survey – USGS, site <https://earthexplorer.usgs.gov/> em dezembro/2021, base cartográfica Projeto RADAM Brasil v.16, folha SC-20-V-B, Melo, Costa, Natali Filho (1978), imagens do Google Earth Pro, GPS Garmin e-Trex 20, e software Trackmaker Pro.

A bacia do Igarapé Mato Grosso (Figura 01), está localizada entre as coordenadas, sendo, a montante, sul 8° 53' 5" S, 63° 56' 38" W; norte, exutório 8° 48' 40" S, 63° 56' 55" W, leste 8° 50' 47" S, 63° 56' 46" W; oeste 8° 50' 30" S, 63° 54' 38".

Foi utilizado o software Qgis 3.22.4 de código aberto e livre, associado ao Grass, Saga, plugin HCMGIS - BaseMap para acessar imagem do google satélite.

**Figura 1** - Localização da Bacia do Igarapé Mato Grosso, município de Porto Velho-RO.



Vetores utilizados: (IBGE, Terrabrasilis, delimitação da bacia do Igarapé Mato Grosso, o próprio autor).

**Fonte:** O próprio autor (2024).

A temperatura máxima do ar oscila entre 30 a 34 °C e mínima entre 17 e 23 °. Período chuvoso, outubro a abril, período seco de junho a agosto, maio e setembro são meses de transição. O clima predominante é Aw – tropical chuvoso, quente e úmido. A bacia situa-se no alto Rio Madeira coordenada geográfica 8° 51' 16" S, 63° 54' 34" W (SEDAM, 2003).

A geomorfologia é classificada como Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental, com superfície tabular erosiva, relevo residual de topo aplainado normalmente restrito por rebordos erosivos. Quanto a litologia é classificada no período pré-cambriano médio superior, com domínio morfoclimático em planaltos e depressão dissecados e superficiais pediplanas (MELO; COSTA, NATALI FILHO, 1978).

CPRM (2012) dispõe que a área está inserida na província Sunsás (1,45-0,90 Ga), entidade geológica Cenozoica de cobertura clástica (CZc) e sedimentos recentes (Qa). Unidade Geológica, era Cenozoica – Período Quaternário – Pleistoceno, classificação Litoestatigráfica Coberturas sedimentares indiferenciadas – Código (i) e Cobertura detrito-lateríticas (dl), sendo (i) com destaque para depósitos de areia, silte, argila ou cascalho, remanescente de materiais lateríticos (perfil mosqueado e argiloso), presença de crosta lateríticas ferruginosa, sedimentos aluvionares, coluvionares, aluvionares indiferenciados sob camada de solos indiscriminados; (dl) depósitos argilo-arenosos e siltico-arenosos, ricos em concreções ferruginosas com horizonte argiloso/moqueado, crosta lateríticas ferruginosa concrecionária ou colunar, com presença de materiais coluvionares e eluvionares com alta importância em elementos detritos lateríticos com fragmentos de quartzo.

A área da pesquisa, lado oeste é ocupada por empreendimentos como loteamentos de chácaras, empresas particulares, lixão desativado, bairro Vila Princesa, localizado ao lado do lixão desativo no corrente ano de 2024, Universidade Federal de Rondônia-UNIR, 5º BEC, Destacamento do Madeira – DEMA, restaurante entre outras propriedades particulares.

Não menos importante do lado leste existem áreas ocupadas, uma pequena parte inclui o bairro militar, localizado próximo ao Cemitério Santo Antônio e a Área de Preservação Ambiental (APA) do rio Madeira, Rondonia (1991), parte da área verde é de jurisdição do Exército Brasileiro. O exutório da bacia foi canalizado e a foz do Igarapé Mato Grosso está dentro da área da Usina Hidrelétrica Santo Antônio.

O delineamento dos pontos de coletas para fontes de sedimento, sedimento de fundo e sedimento em suspensão (Tabela 1) foram selecionados considerando acessibilidade e terreno com erosão.

**Tabela 1** – Localização de coleta de sedimentos, bacia do Igarapé Mato Grosso - RO.

Coleta de fonte de sedimento			
Ponto	Local	Coordenadas Geográficas	
		Latitude (s)	Longitude (w)
A	5º BEC	8º 49' 27"	63º 57' 45"
B	Cemitério Santo Antônio	8º 48' 52"	63º 56' 40"
C	Britamar	8º 49' 46"	63º 56' 53"
D	Cemitério da Paz	8º 50' 1"	63º 56' 13"
E	Bairro Vila Princesa	8º 50' 45"	63º 56' 28"
F	UNIR Campus	8º 49' 53"	63º 56' 27"

Coleta de sedimento de fundo e sedimento em suspensão			
Ponto	Local	Coordenadas Geográficas	
		Latitude (s)	Longitude (w)
P1	BR 364, km,09 Estrada da Usina Santo Antônio	8º 49' 39"	63º 56' 30"
P2	Sítio Mãe Quinó	8º 49' 38"	63º 56' 1"
P3	Loteamento Recanto dos Pássaros	8º 50' 45"	63º 55' 31"

**Fonte:** O próprio autor (2024).

### Procedimento metodológico.

As amostras de fontes de sedimentos foram coletadas em seis locais na bacia do Igarapé Mato Grosso, Batalhão de Eng. de Construção do Exército - 5º BEC, Cemitério Santo Antônio, Britamar, Cemitério da Paz, Vila Princesa e UNIR em uma única campanha. Em cada área foram coletadas 6 amostras (0,5 g), composta por 10 subamostra, coletadas a 5 cm da superfície do solo, identificadas e acondicionadas em sacos plásticos.

Para amostras de sedimento de fundo foram coletados entre 500-800 g de amostras em duas campanhas em 2002, cada uma das 5 amostras fora acondicionada em sacos plásticos e mantidos refrigerados.

Tanto para fonte de sedimento como para a primeira campanha de coleta de sedimento de fundo, as amostras foram trabalhadas em parceria com o curso de agronomia do Centro Universitário São Lucas/Afya Ji-Paraná, no Laboratório de Solos Eng. Cavalcante de Miranda.

Na segunda coleta as amostras de sedimento de fundo e sedimento em suspensão as amostras foram trabalhadas no Laboratório de Geografia e Planejamento Ambiental (LABOGEOPA) - UNIR, campus Porto Velho-RO.

Para coletar amostras de sedimento em suspensão utilizou-se três amostrador integrado no tempo, conforme Phillips et al. (2000) instalados a 20 cm da lâmina d'água.

Na primeira campanha, P1- Estrada da Usina Santo Antônio foi o único que obteve volume de amostra. Para segunda coleta, um terceiro ponto foi identificado e instalado 1 amostrador no loteamento Recanto dos Pássaros e todos apresentaram volume de amostra para leitura com fluorescência de raios X.

### **Análise granulométrica e macronutrientes**

Amostras de fontes de sedimentos foram submetidas a análise física (granulometria) e química (macronutrientes) para P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, pH. Foram secas em estufa a uma temperatura aproximada de 45 °C, destorroadas e peneiradas na fração < 2 mm, segundo Manual de Métodos e Análise de Solos (TEIXEIRA et al., 2017).

Para análise de P utilizou-se o método espectrofotométrico com complexo fosfomolibdico, medindo a densidade ótica a 660 nm no fotocolorímetro. K foi determinado por fotômetro de chama, ajustando com solução padrão e realizando diluições. Ca + Mg adicionou-se "buffer", cianeto e trietanolamina e titulado com EDTA 0,025 N, usando Eriochrome Black T como indicador (TEIXEIRA et al., 2017).

Al foi extraído  $Al_3^+$  com KCl 1 mol/L e titulado com NaOH 0,025 mol/L, azul-de-bromotimol foi utilizado como indicador. H + Al Calculou-se teores usando equações de regressão específicas com curva calibrada. O pH foi medido em água usando um eletrodo combinado em suspensão solo/água (1:2,5), após agitação ficou em repouso por uma hora (TEIXEIRA et al., 2017).

### **Análise de espectroscopia de fluorescência de raios X**

Os sedimentos foram avaliados pela análise de espectroscopia de fluorescência de raios X por dispersão em energia (EDXRF). Foi utilizado Espectrômetro EDX-720 da marca Shimadzu, na rotina qualitativa. O detector do espectrômetro exige refrigeração alimentada por nitrogênio líquido.

As amostras foram maceradas e peneirada para granulometria 63  $\mu\text{m}$  e acondicionada em porta amostra específico recobertos com filme de espessura de 0,2 mil, marca Cole-Parmer® Spex®.

As análises foram realizadas em janeiro de 2024. Para seis áreas (5º BEC, Cemitério Santo Antônio, Britamar, Cemitério da Paz, Vila Princesa, UNIR), as amostras foram homogeneizadas para compor uma única amostra e realizado a leitura em triplicata.

Para os sedimentos de fundo foram lidas 3 amostras, P1 Estrada da Usina Santo Antônio, P2 Sítio Mãe Quinó e P3 loteamento Recanto dos Pássaros, cada amostra foi composta por 3 subamostra, lidas em triplicata.

Quanto aos sedimentos em suspensão foram realizadas leitura para os mesmos pontos do sedimento de fundo, porém, sendo apenas uma amostra para cada ponto lidos em triplicata.

A técnica estatística de análise de componentes principais (PCA) foi aplicada nos dados de área líquida dos picos para os elementos identificados por FRX.

É um método não supervisionado que reduz a dimensionalidade do conjunto de dados com base na variância. Reconhece semelhanças entre as amostras e o peso correspondente das variáveis que contribuíram para os argumentos (FERREIRA, 1999).

É uma técnica que pode ser usada para caracterizar fontes de sedimentos por semelhança entre amostras (De Castilhos et al., 2015).

### **Análise de estrutura mineralógica utilizando o método rietveld**

O Refinamento de Estrutura Rietveld foram realizados a partir dos resultados experimentais de difração de raios (DRX) com difratômetro dotado de um anodo de cobre e o *step* usado foi de 0,03 [ $^{\circ}2\text{Theta}$ ], 441 cartas cristalográficas foram utilizadas (arquivos CIF) baixadas do site ICSD - *Inorganic Crystal Structure Database*.

Foi criado um único banco de dados “\*.hsrdb” no qual foram incorporadas todas as fórmulas químicas previstas em fluorescência de raios X.

Foram considerados os elementos individuais e óxidos detectados preliminarmente pelos exames EDX feitos para 13 amostras de sedimentos. Para cada óxido foram considerados, no mínimo, 20 cartas cristalográficas CIF.

O refinamento utilizado foi automático no *software X'Pert High Score Plus V3.0* da PANalytical B. V. Desconsiderou-se todas as radiações  $\text{K}\alpha\text{-2}$ , ou seja,

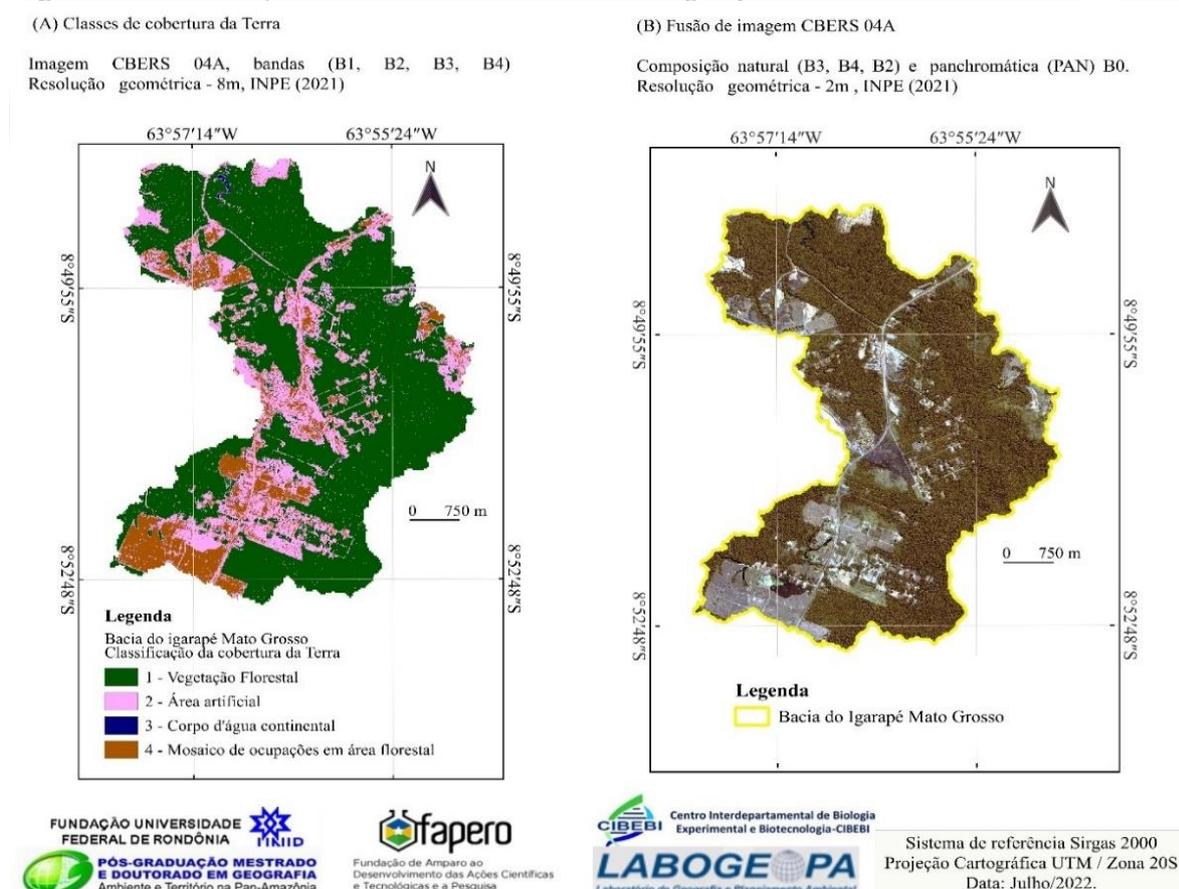
conservou-se apenas as radiações  $K\alpha-1$  (1,54060 Å). Adotou-se uma linha de *background* a partir de Sonneveld e Visser (1975), o refinamento de estrutura Rietveld foi realizado com ângulo de varredura para todas as amostras com  $13,66^\circ$  a  $70^\circ 2\theta$ .

As percentagens mássicas (weight = %wt) que foram calculadas e documentadas em 13 refinamentos de estrutura são os que mais se destacaram, outros óxidos tiveram uma percentagem muitíssimo pequena e não tiveram reflexão suficiente para que houvesse indexação em posições  $2\theta$  (posições de Bragg).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A classificação da cobertura da terra (Figura 2) aponta alterações predominantes para as classes, Área artificial e Mosaico de ocupações em área florestal, conforme a metodologia do IBGE (2013), porém, observa-se no lado leste cobertura da terra expressiva por vegetação.

**Figura 2** - Classificação da cobertura da terra, bacia do Igarapé Mato Grosso-RO.



Fonte: O próprio autor (2022).

A ocupação da bacia inclui vários empreendimentos públicos e particulares,

com excessão do cemitério Santo Antônio, as demais coletas foram feitas no lado oeste da bacia.

O 5º BEC, é uma área militar, Destacamento Especial do Madeira-DEMA, ramal Vila Princesa, nesse local realizavam usinagem para pavimentação de rodovias e há remanescentes de brita e areia, parte da área consta vegetação, mata ciliar em curso d'água de primeira ordem com nascente dentro do DEMA, atualmente utilizada para treinamento militar. Na empresa Britamar, a atividade também era exploração mineral, semelhante a área do 5º BEC, a diferença é que na Britamar tem um posto de combustível para abastecer os veículos da empresa, a informação, é que a área está desativada.

Na bacia há dois cemitérios, o Santo Antônio mais antigo, onde foi a única área de coleta de fonte de sedimento localizado no lado leste da bacia. No período da pandemia sua área foi ampliada para atender as vítimas da COVID-19 que foram a óbito.

Esse mesmo fato, ampliação, ocorreu no Cemitério da Paz. Outra característica comum entre eles é que ficam próximo a rede de drenagem do igarapé Mato Grosso, porém em lado oposto da bacia.

A montante da área UNIR, está o bairro Vila Princesa, onde há poluição por resíduos sólidos no arruamento e quintais.

Outro agravante no bairro, conforme Costa e Malagutti Filho (2008), é a proximidade com a lixeira que atendeu a cidade de Porto Velho desde 1993 como lixão e em 2004 passou a ser feito deposição em célula, contudo a área está localizada em local permeável, fraturado que pode desencadear poluição. No corrente de 2024 a lixeira foi desativada, mas a problemática ambiental irá continuar oculta.

### **Análise físico-química de fontes de sedimentos**

Os valores de fósforos e potássio (Tabela 2) tiveram maior destaque na área Vila Princesa, que se desenvolveu junto ao lixão da cidade de Porto Velho. Por ser um bairro formado no entorno do lixão é possível que parte do material em decomposição tenha sido lixiviado para o solo.

A concentração de fósforo e potássio em áreas de lixão pode variar significativamente dependendo de vários fatores, como o tipo de resíduos depositados, a idade do lixão e as condições ambientais locais. Resíduos orgânicos como restos de alimentos costumam ser fontes de potássio e fósforo.

Tabela 2 - Elementos químicos em sedimentos, bacia do igarapé Mato Grosso - RO

Ponto	Fosforo	Potássio	Calcio	Magnésio	Alumínio	Hidrogênio/Alumínio	pH
A	13.443 a	0.059 a	1.566 a	0.783 c	0.450 a	8.410 b	5.690 b
B	12.653 a	0.048 a	2.416 a	0.933 c	0.983 b	10.616 b	5.438 b
C	20.020 a	0.150 b	3.150 b	0.176 a	0.133 a	5.665 a	6.513 c
D	7.615 a	0.118 b	3.216 b	0.716 c	0.266 a	7.120 a	6.528 c
E	43.528 b	0.205 c	4.700 b	1.166 c	0.033 a	5.563 a	6.511 c
F	8.000 a	0.066 a	0.766 a	0.533 b	1.333 b	10.013 b	4.138 a
<b>CV (%)</b>	72.17	47.25	52.91	39.81	93.1	33.03	11.24

Dados: A=5° BEC; B=Cemitério Santo Antônio; C=Britamar; D=Cemitério da Paz; E= Vila Princesa; F= UNIR. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste Skott Knott (P<0,05). CV: Coeficiente de variação.

**Fonte:** O próprio autor.

E a gestão e produção de resíduos sólidos urbanos, considerados desafios globais afetam a saúde humana, a preservação do ambiente, e a promoção da sustentabilidade e desenvolvimento da economia (HUSSEIN; MONA, 2018).

Os níveis de Cálcio, pH (Tabela 2) foram considerados bons para áreas da Britamar, Cemitério da Paz e da Vila Princesa. Na área do cemitério cálcio pode ter explicação pela ocorrência de necrochorume. Na Britamar o cálcio pode ser explicado pelas rochas de calcário utilizadas na britagem. No bairro Vila Princesa a presença do cálcio pode estar relacionada com resíduos de construção civil, concreto e materiais orgânicos.

O pH do solo nestas três áreas é considerado acidez fraca. Em áreas como lixões, cemitérios e locais de exploração de brita pode variar significativamente devido às diferentes fontes de contaminação e características do solo e água. A condição do pH tem relação com os íons básicos como Cálcio e Magnésio que podem ter contribuído para a redução da acidez. O cálcio com efeito de potencializar a atividade microbiana pode aumentar a disponibilidade de molibdênio e outros nutrientes (DA CUNHA KEMERICH et al., 2013)

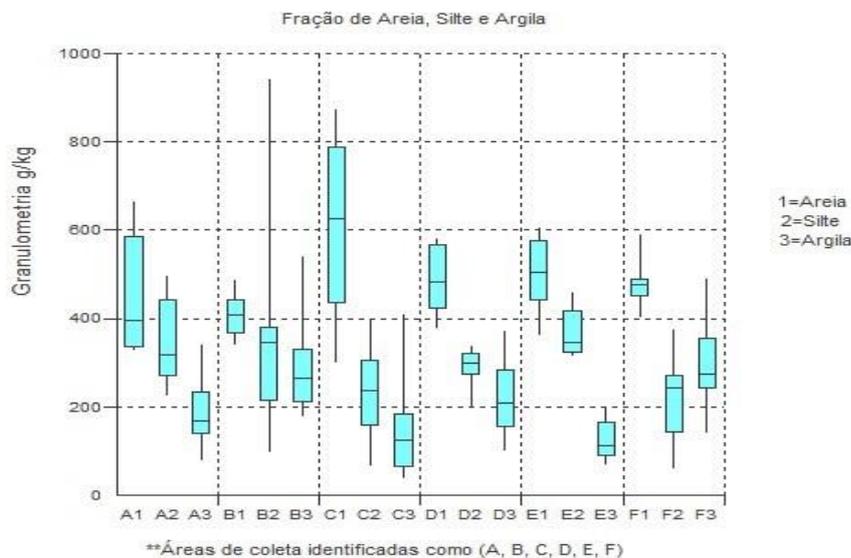
Os níveis de magnésio (Tabela 2) foram altos para 5° BEC, cemitério Santo Antônio, Cemitério da Paz e da Vila Princesa. Em áreas de lixão, cemitério e exploração de brita variam dependendo das fontes de contaminação e das características do solo e da água em cada ambiente específico. No cemitério, segundo Da Cunha Kemerick et al. (2013), o magnésio está presente principalmente em ossos humanos e em materiais de sepultamento e pode lixiviar para o solo e água e interferir na composição química.

O alumínio (Tabela 2) teve destaque no Cemitério Santo Antônio e UNIR. O hidrogênio/alumínio se destacou no 5º BEC, Cemitério Santo Antônio, UNIR e pode ter influenciado para o pH do solo desempenhar um papel de acidificação ao aumentar os níveis de íons hidrogênio (H+).

Mesmo a bacia sendo formalmente classificada como área rural, ela pode ter influência de descarte que levam à poluição do solo e da água subterrânea. Em várias situações, a poluição está conectada ao descarte e incineração de resíduos ao ar livre, práticas frequentes especialmente em nações de menor poder econômico (FERRONATO; TORRETA, 2019).

O ambiente natural tem muitas variáveis e todas elas podem influir para justificar a presença da fração de minerais na geoquímica dos sedimentos (Figura 3).

**Figura 3** - Boxplot para granulometria de sedimento, bacia do Igarapé Mato Grosso - RO.



\*\*A (5º BEC); B (Cemitério Santo Antônio); C (Britamar); D (Cemitério da Paz); E (Vila Princesa); F (UNIR).

**Fonte:** O próprio autor (2024).

As análises granulométricas revelaram textura predominante arenosa, com maior destaque para área Britamar, seguido da área do 5º BEC, e nessas áreas haviam areia e brita no pátio. E pela geologia local a sílica ocorre naturalmente na área de estudo, porém, a areia presente no pátio das empresas que pode ser transportado para o curso d'água no período chuvoso é certamente de fonte externa, explorada na pedreira do REMA, conhecida como pedreira do 5º BEC.

O Cemitério da Paz e o bairro Vila Princesa também apresentaram predominância para granulometria arenosa que pode ter explicação pelo arruamento,

manutenção de vias sem pavimentação que utilizam materiais alóctone, como ocorre na UNIR e Cemitério Santo Antônio que tem vias não pavimentadas.

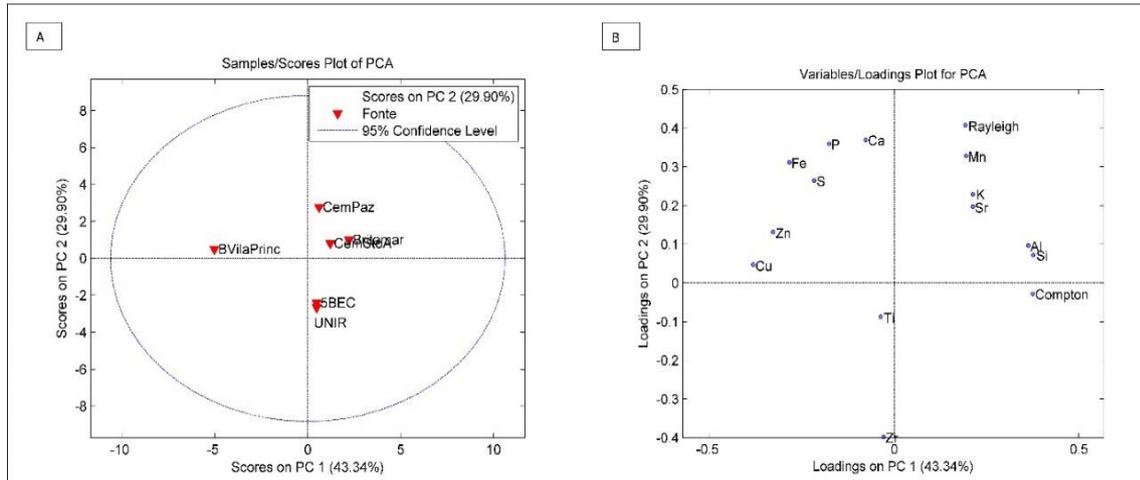
A fração de silte, segue como a segunda mais expressiva, e a diferença perceptível foi para argila que ficou à frente do silte na área da UNIR, que pode ser justificado pelas coletas feitas próximas a área florestada com predominância de matéria orgânica.

### **Espectroscopia de Fluorescência de raios X por energia dispersiva**

As componentes PC1 x PC2 explicam a somatória dos dados. No gráfico de Scores-A são apresentadas as áreas de coleta de sedimento e nos gráficos de Loadings-B são projetadas as variáveis mais expressivas para a variância dos dados em relação as amostras.

Para fonte de sedimento (Figura 4) PC1 contribuiu para separar as amostras do bairro Vila Princesa das demais amostras, a ocorrência desse fato se deu pelas maiores concentrações de Cu, Zn e Fe em relação a menor quantidade das variáveis Si, Al, Sr, K e Mn, estas últimas foram as variáveis mais expressivas para a variação dos dados na PC1 com 43,34%.

O bairro Vila Princesa por estar localizado em uma área ao lado do local onde funcionou o depósito de lixo a céu aberto até o início do ano de 2024, descarte do município de Porto Velho, e pela dinâmica da população local que trabalha com resíduos sólidos com coleta para reciclagem, acumula variedade de composições de invólucro de produtos eletrônicos, desde equipamentos domésticos a industriais, assim, é esperado que as amostras apresentem altos teores de micronutrientes como Cu, Zr e Fe que podem ser possíveis contaminantes, e no caso da presença do Fe está associada a geologia dos solos amazônicos.

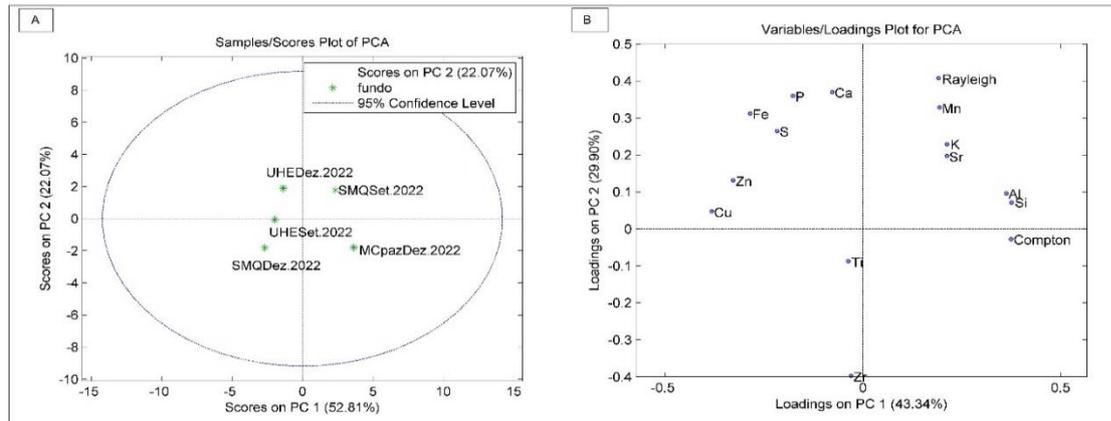
**Figura 4** - Componentes principais, fonte de sedimentos na bacia do Igarapé Mato Grosso - RO.

**Fonte:** O próprio autor (2024).

A PC2 (Figura 4) contribuiu para dois fatos, agrupar amostras do 5º BEC, UNIR, e separa-las das amostras do cemitério da Paz, cemitério Santo Antônio e Britamar. Isto ocorreu devido à alta concentração de Ti e Zr na área do 5º BEC e UNIR, por serem elementos que se deslocam pouco no solo evidenciam áreas preservadas. Parte de ambas as áreas ainda constam mata ciliar, árvores com copas altas e o solo com presença de matéria orgânica. No 5º BEC a área preservada é utilizada para instruções militares e na UNIR é utilizada para estudos acadêmicos, em reconhecimento de campo foram avistados família de macacos, aves e borboletas.

A PC1 (Figura 5) apresenta 52,81% da variação dos dados. A maior concentração dos elementos Si e Zr está relacionado com amostras a montante do cemitério da Paz, loteamento Recando dos Pássaros, dezembro de 2022. O alto teor de Si fica evidente pela predominância da granulometria arenosa na área da bacia e o Zr por ser um elemento abundante na natureza é esperado sua presença nos sedimentos fluviais.

Em setembro de 2022 a maior concentração com relação a amostras da área do Sítio Mãe Quinó foram para k, Al, Cu, que pode estar relacionado com a tendência dos elementos ficarem retidos por maior tempo no sedimento. No período chuvoso, dezembro de 2022, a maior concentração de elementos relacionados com amostras do Sítio Mãe Quino foi para o P que pode estar associado ao escoamento superficial que pode transportar restos de queimada e entre outros que podem ter contribuído para a aparição do P, ou ainda pode ter sido manejada com fertilizantes fosfatados. Naturalmente a decomposição de material orgânico, detritos de plantas e animais pode liberar fósforo no ambiente aquático e o período chuvoso pode intensificar esse processo transportando sedimento para os igarapés.

**Figura 5** - Componentes principais, sedimento de fundo, bacia do Igarapé Mato Grosso - RO.

Fonte: O próprio autor (2024).

A PC2 (Figura 5) contribuiu com 22.07% dos dados. Os elementos que apresentaram maior concentração com relação as amostras da Estrada da Usina Santo Antônio, foram S, Fe, Zn, Ca, Mn em dezembro de 2022 comparado com as demais amostras.

Essas concentrações podem estar relacionadas ao período chuvoso que exerce força sobre o transporte de sedimento pelo escoamento superficial e leva para o Igarapé micronutrientes, seja por rejeito de materiais descartados incorretamente ou pela característica da geologia local como a presença natural de ferro que ocorre em abundância.

Quanto ao S pode estar presente devido à decomposição de matéria orgânica, como plantas e animais, que tendem a acumular no sedimento, ou até estar associado a minerais sulfatados naturais como gesso, também presente em Ca.

Para as componentes principais das amostras de sedimento em suspensão (Figura 6) PC1 x PC2 explicam a variabilidade de 79,91% dos dados.

A PC1 contribuiu com 42,12% da variação dos dados.

Os elementos que apresentaram maior concentração em relação as amostras a montante do cemitério da Paz, loteamento de chácaras Recanto dos Pássaros foram P, Sr, Ti, Si, sendo Sr e K são os que mais se relacionam.

A proximidade entre os elementos Sr e K pode estar no fato de além do estrôncio ser comum na crosta terrestre e ter característica solúvel em água, o que facilita sua mobilização a partir de fontes potenciais, ou ainda pela geologia local, com granulometria preponderante arenosa pode ter origem em feldspatos e micas que liberam potássio e estrôncio simultaneamente.

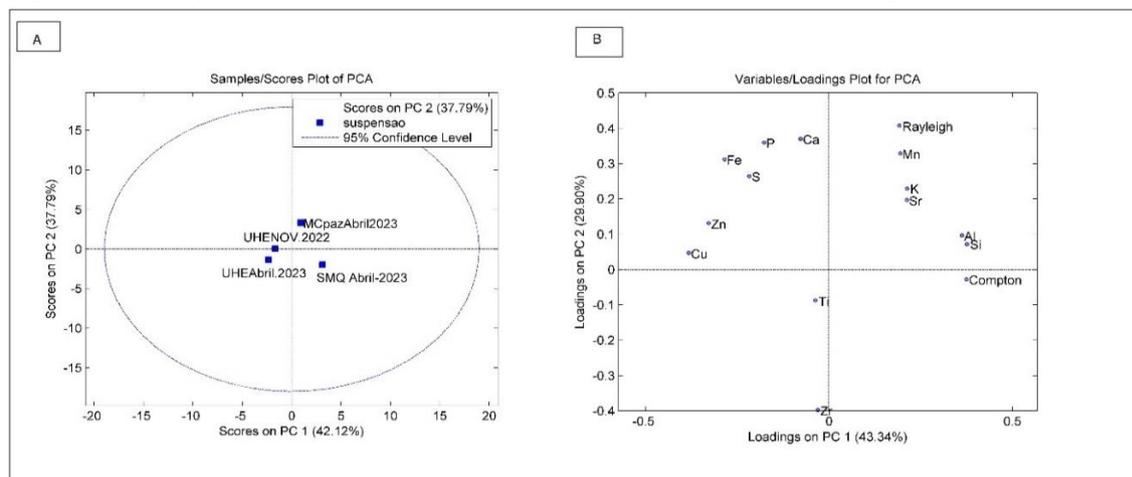
Na PC2 37,79% explicam a variância dos dados do total de 79,91%.

Os elementos que tiveram maior teor relacionados a amostras da estrada da Usina Santo Antônio no período de setembro de 2022 foram Zr, Cu e Al em relação aos teores dos elementos Zn, Mn e Ca relacionados ao período de abril de 2023 em função dos teores dos elementos das demais amostras.

A distribuição das variáveis (Figura 6) não apresentou padrão de agrupamento para indicar relação entre elas, com exceção de K e Sr nas amostras a montante do cemitério da Paz.

Esse fato pode estar relacionado com a dinâmica natural do comportamento de cada elemento, e o método de coleta das amostras com amostrador integrado no tempo ao captar amostras em diferentes períodos e em fração granulométrica fina pode ter contribuído para o registro de diferentes variáveis que podem ter origem na geologia local ou ainda pode estar presente em áreas potenciais de fontes de sedimentos localizadas próximos a cursos d'água de primeira ordem como a lixeira (descarte de resíduos sólidos), o bairro Vila Princesa, a UNIR, a Britamar e o 5º BEC que estão a montante do ponto de coleta da estrada da Usina Santo Antônio, lado oeste da bacia do igarapé Mato Grosso.

**Figura 6** - Componentes principais – Sedimento em suspensão, bacia do Igarapé Mato Grosso - RO.



Fonte: O próprio autor (2024).

## Difração de raios X – identificação de fases cristalográficas e estrutura cristalina

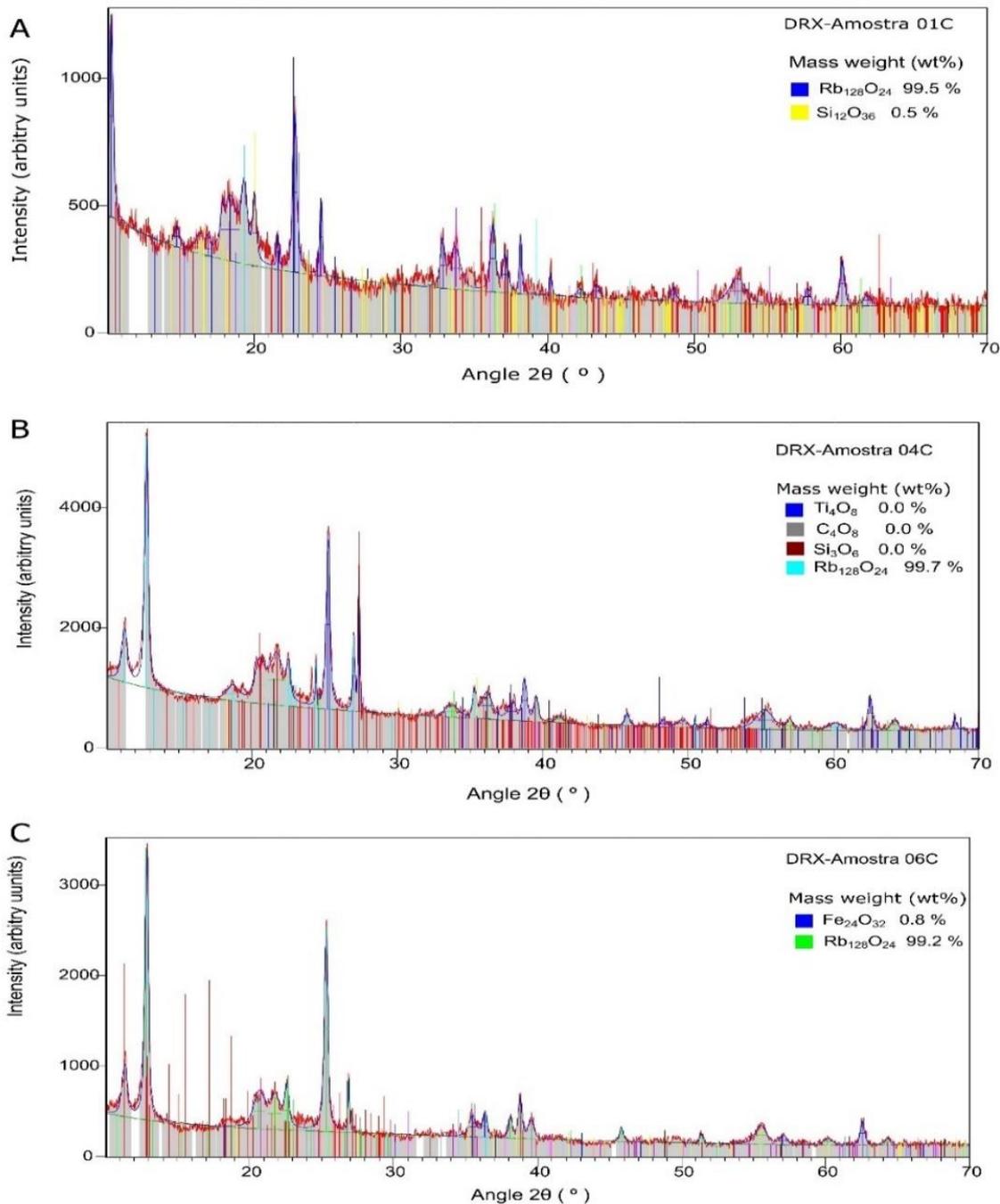
O refinamento de estrutura cristalina pelo método Rietveld é apresentado a partir de gráficos com os Espectros do padrão de difração de Raios X (DRX) e fases cristalográficas.

A mineralogia (Figura 7) demonstra tanto no item A, B e C que se referem a três coletas de fontes de sedimentos tem predominância para o composto que contém Rubídio, com percentual mássico acima de 99% para as três amostras. Porém, há quantidades relativas de diferentes compostos em menor quantidade mássica, o composto Fe com 0.8% no item “C”, seguido de Si com 0.5% no item “A”.

### **Área Britamar**

O resultado da porcentagem mássica (Figura 7) majoritária pode ser explicado pelas atividades que foram realizadas na área com extração de pedra, cascalho, areia e brita e pela característica geológica.

**Figura 7** - Espectros DRX e teores mineralógicos pelo refinamento de Rietveld, amostras de fonte de sedimento, Britamar, bacia do Igarapé Mato Grosso, Porto Velho-RO.



**Fonte:** O próprio autor (2024).

A pedra RE MA do 5º BEC localiza-se na suíte intrusiva Santo Antônio, margem direita do Rio Madeira é formada por três tipos de rochas graníticas como biotita monzogranito grosso, biotita monzogranito equigranular médio e quartzo monzonito equigranular, entre outras, conforme descrita por Payolla em 1994, os dados geoquímicos da suíte indicam que as rochas tem alta concentração de K, F, Rb,

Zr, Ga e baixos teores de Ca, Mg, P, Sr e  $\text{SiO}_2$  com teor entre 68-74% e K/Rb entre 109 e 225% (QUADROS, RIZZOTTO, 2007).

Pode-se inferir que os compostos acima são polimorfos dos óxidos de Rubídio, Ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), Silício ( $\text{SiO}_2$ ) ou seja com forma de estrutura cristalina diferentes. A coexistência desses materiais polimorfos a partir dos óxidos pode estar relacionada com o ambiente poligenético distinto, porém, com fase majoritariamente elevada para o teor de rubídio, mesmo ele não sendo encontrado puro na natureza sua presença foi constada através dos minerais onde ele ocorre, visto que “Rb” não ocorre em seu estado elementar na natureza (NAVROTSKY et al., 2008; JIA et al., 2024).

### Área Vila Princesa

Como na área Britamar compostos como Rb e Fe foram identificados na área do bairro Vila Princesa. O diferencial (Figura 8) item “A” foi para Ti, Si que tiveram uma proporção expressiva, e ainda que estes elementos sejam uma variação de dióxidos, as fases cristalográficas demonstram a composição mineralógica (Figura 8, item A).

No item “B” (Figura 8) aparecem 3 elementos (C, Zr) diferentes das demais amostras, e “Ti” que também aparece no item “C”.

O percentual do carbono foi o mais baixo encontrado comparado com as demais amostras, a explicação pode ser pelo fato do local ser um bairro e moradores ter hábitos de fazer queima de matéria orgânica nos quintais, pois as cinzas após a combustão passam a constituir os minerais e podem ser dispersados por intempéries ou deterioração de algum elemento orgânico.

O dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) é outro composto encontrado na natureza ou sintetizados, sua aplicação se estende a produção de polietileno de alta densidade (PEAD), termoplástico que pode estar presentes em vários componentes.

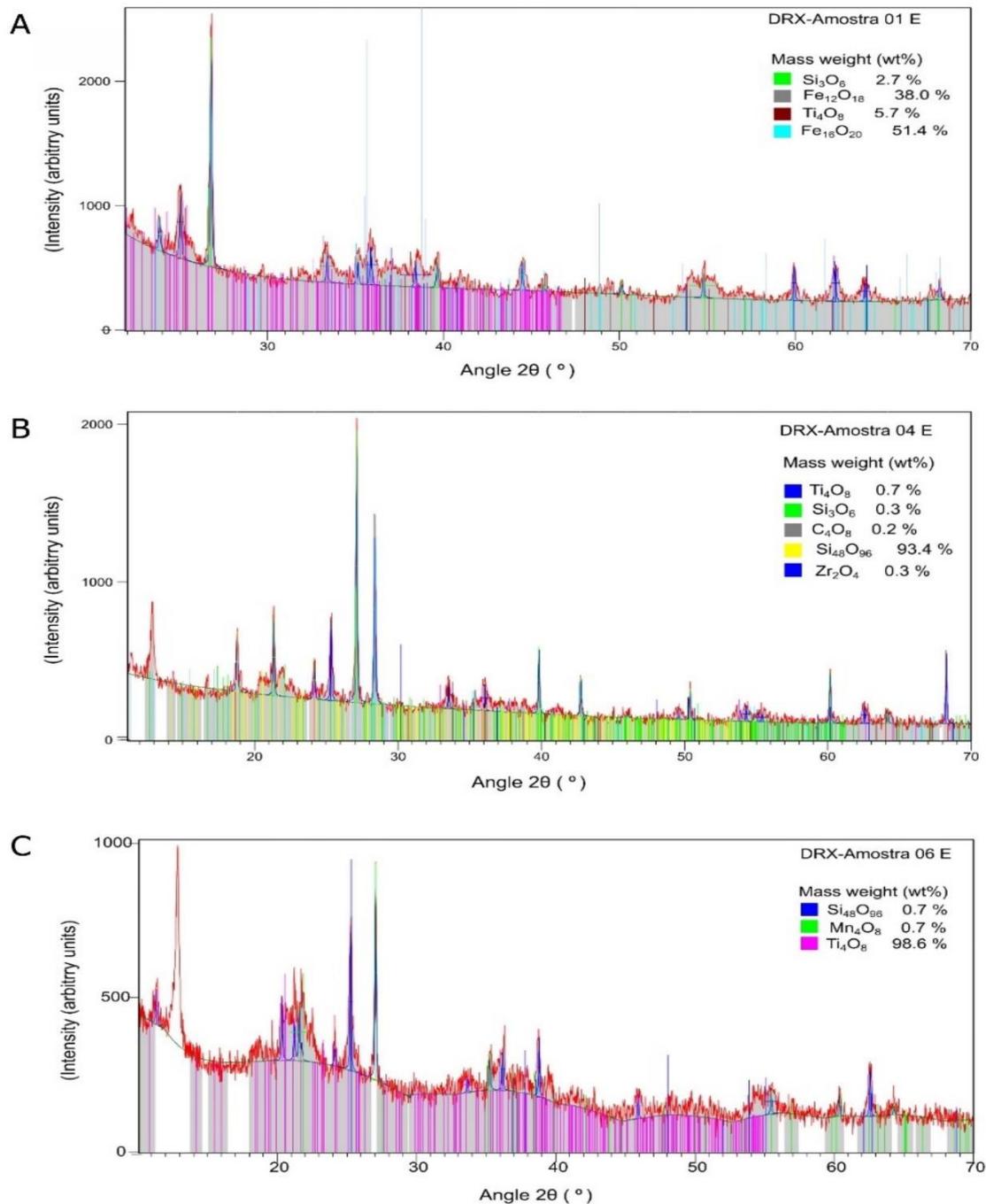
Como invólucro de vários produtos que pode justificar sua presença nas amostras devido aos produtos acondicionados para venda como material de trabalho de reciclagem que são acumulados nos quintais ou que tenha sido arrastado por um evento como chuva.

Materiais polimorfo podem surgir da degradação devido a altas temperaturas que impulsiona o intemperismo químico.

Dentre a vasta características quanto ao uso como matéria prima, o  $\text{TiO}_2$  é utilizado também como pigmentos em tintas, corantes alimentícios, cosméticos,

cremes dentais, polímeros, e a engenharia tem utilizado como nanomateriais com interesse em aplicação para células solares e sensores químicos (SALUM et al., 2022).

**Figura 8** - Espectros DRX e teores mineralógicos pelo refinamento de Rietveld, amostras de fonte de sedimento, bairro Vila Princesa, bacia do Igarapé Mato Grosso, Porto Velho-RO.



**Fonte:** O próprio autor (2024).

O (ZrO<sub>2</sub>) dióxido de zircônio é um composto químico formado por zircônio e oxigênio, seu uso vai desde ferramentas de corte até sensores de oxigênio, saúde odontológica entre outras aplicações. É um material cerâmico com várias aplicações

industriais devido às suas propriedades, como alta resistência mecânica, resistência a altas temperaturas e baixa condutividade (MILANI et al., 2010).

Desse modo a presença do composto  $Zr_2O_4$  nas amostras pode ser através de material polimorfo que por possuir diferentes aplicações pode ser um material externo a área de coleta, e estar presentes em algum elemento manipulado por ação antrópica, visto que a área é um local com histórico de descarte de resíduos sólidos inadequados.

As amostras identificadas no item “A” e “B” foram 5 fases e no item “C” 3 fases, e nesta última foi identificado o composto  $Mn_4O_8$  e por ser um dos menores teores sua presença também pode ser atribuída como externo a área, possivelmente por manipulação e acondicionamento de produtos pela população residente no bairro.

Os óxidos e manganês tem uma importância tecnológica atribuída por sua diversidade de estrutura cristalina, resultado de várias condições de oxidação, que faz com que tenha aplicações de alta envergadura, assim como produtos populares, que vão de pilhas até otimização de supercapacitores (DIB NETO et al., 2022).

As variações dos óxidos de silício podem ocorrer naturalmente, porque o silício ocorre em abundância, por estar associado a minerais presentes no solo, seja como monóxido ou dióxido de silício (Figura 8, item A, B, C) ou por ações antrópicas em produtos e subprodutos, peças de equipamentos que são constituídos por material polimorfo que podem estar acondicionados em fragmentados em frações minúsculas e a ponto de ser identificados em fases cristalinas, ou ainda pela presença da sílica, presente no grão de areia.

E por haver a presença da exploração da pedreira do 5º BEC, é possível que esse material seja externo, presentes em granitoides do grupo de rochas ígneas intrusivas rica em sílica, como a formação Suíte Intrusiva Santo Antônio (QUADROS; RIZZOTTO, 2007).

O elemento Fe, comum no solo amazônico explica a presença de fases de dois materiais polimorfos originados do dióxido de ferro ( $Fe_2O_3$ ) na área ou por ação antrópica levado para o local configurando um elemento traço.

Abundante na crosta terrestre, sua ocorrência pode configurar como elemento traço, assim como o silício e alumínio, as condições fisicoquímicas do local podem contribuir para a formação de diversos compostos, desde utensílios domésticos a ferramentas, concreto armado, transporte motorizado entre outras aplicações, e são encontrados na natureza em forma de óxidos, hidróxidos e oxi-hidróxidos (DUARTE, 2019).

## Cemitério da Paz

A abundância do cobre na crosta terrestre (68ppm) e 50% de todas as reservas podem ser encontrados na forma de calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), sendo associado majoritariamente no formato de minérios sulfetados, sendo 35% do cobre ligado ao ferro, especialmente em ambiente subterrâneos, mas também é encontrado como óxidos, carbonatos, hidroxissilicatos e sulfatos em ambiente da camada superior das reservas minerais, onde ocorre com característica oxidante mais forte.

Devido a duas propriedades, altas condutividade elétrica ( $61,7\text{S m mm}^{-2}$ ) e resistência à corrosão ( $E_r^\circ = +0,34\text{V}$ ) o cobre é amplamente utilizado pela indústria para geração e transmissão de energia elétrica, Silva et al. (2019) e além de compor diversas ligas, tem papel importante em reações de oxirredução catalíticas em vários processos incluindo biológicos como ligantes biológicos que refletem em funções celulares, metabólicos e até em órgãos humanos.

As fases identificadas nas amostras de sedimento sugerem que os óxidos de cobre têm diversas aplicações e como compostos químicos sempre estão associados a outros íons.

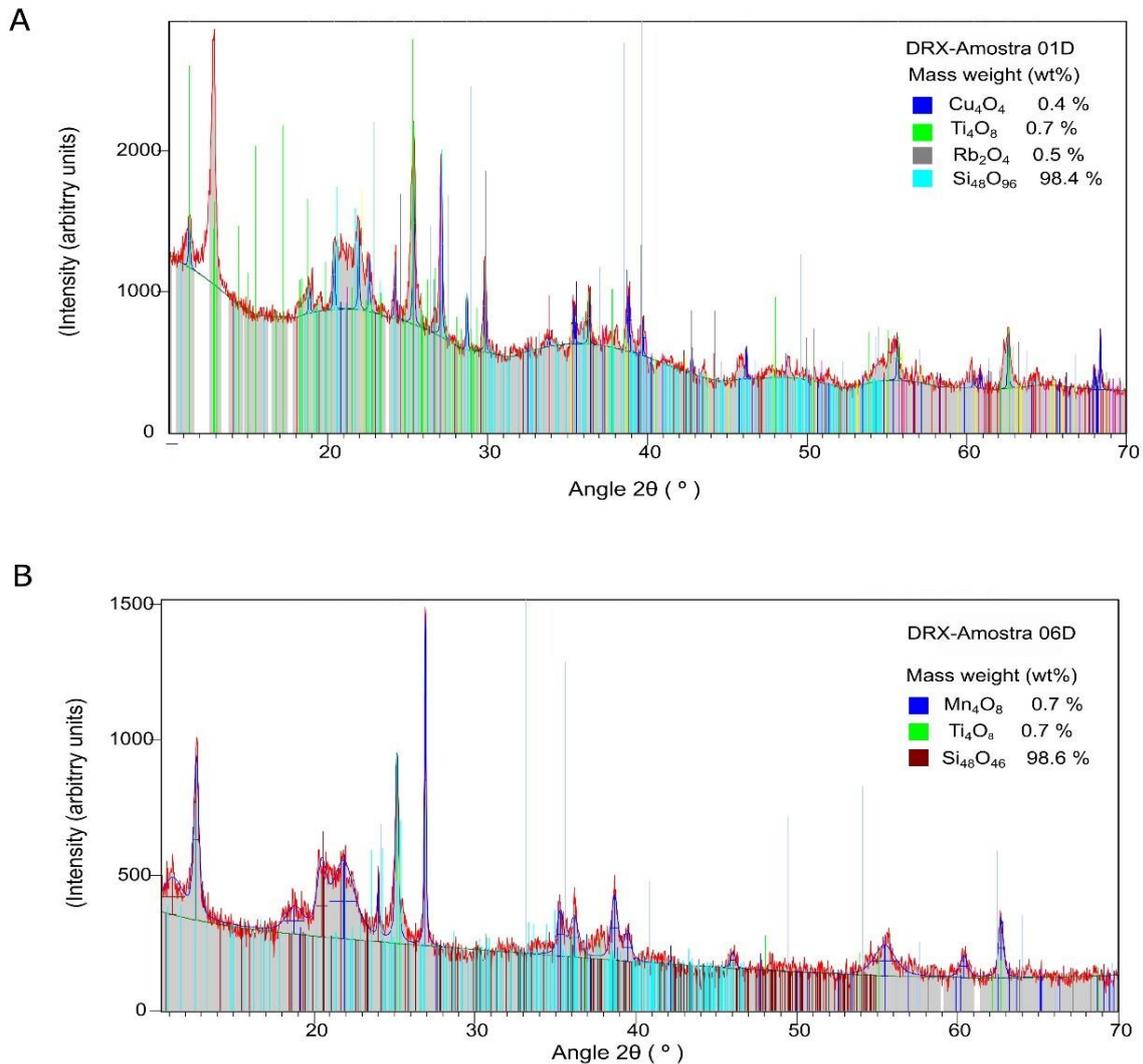
Seja para implemento na fabricação de produtos para uso industrial, doméstico, farmacêutico ou devido a própria formação da estrutura geológica da área de coleta, o comportamento da ação antrópica acerca da manipulação e armazenamento de produtos e subprodutos que contém o composto pode influenciar como rastreador com aparição nas amostras (Figura 9).

Quanto a fase ( $\text{Mn}_4\text{O}_8$ ) pode ser explicada pela transformação dos materiais polimorfos, conforme, Dib Neto et al. (2022) apresentam notável importância tecnológica devido às suas diversas estruturas cristalinas derivados do óxido de manganês ( $\text{Mn}_{1-x}\text{O}$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Mn}_5\text{O}_8$ ).

Esse composto ( $\text{Mn}_4\text{O}_8$ ) pode ocorrer naturalmente ou por produção induzidos pela indústria de materiais para diversas aplicações que resultam em produtos que podem ser utilizados pela atividade antrópica existente no local, como o manuseio de produtos para fazer as jazidas ou o lacre para sepultamento, ou até mesmo para manutenção da estrutura de alvenaria dos prédios que abrigam a parte administrativa.

E mesmo que tais produtos não sejam utilizados diariamente, no caso de tintas, seus resíduos podem permanecer adsorvidos em sedimentos de fundo.

**Figura 9** - Espectros DRX e teores mineralógicos pelo refinamento de Rietveld, amostras de fonte de sedimento, Cemitério da Paz, bacia do Igarapé Mato Grosso, Porto Velho-RO.



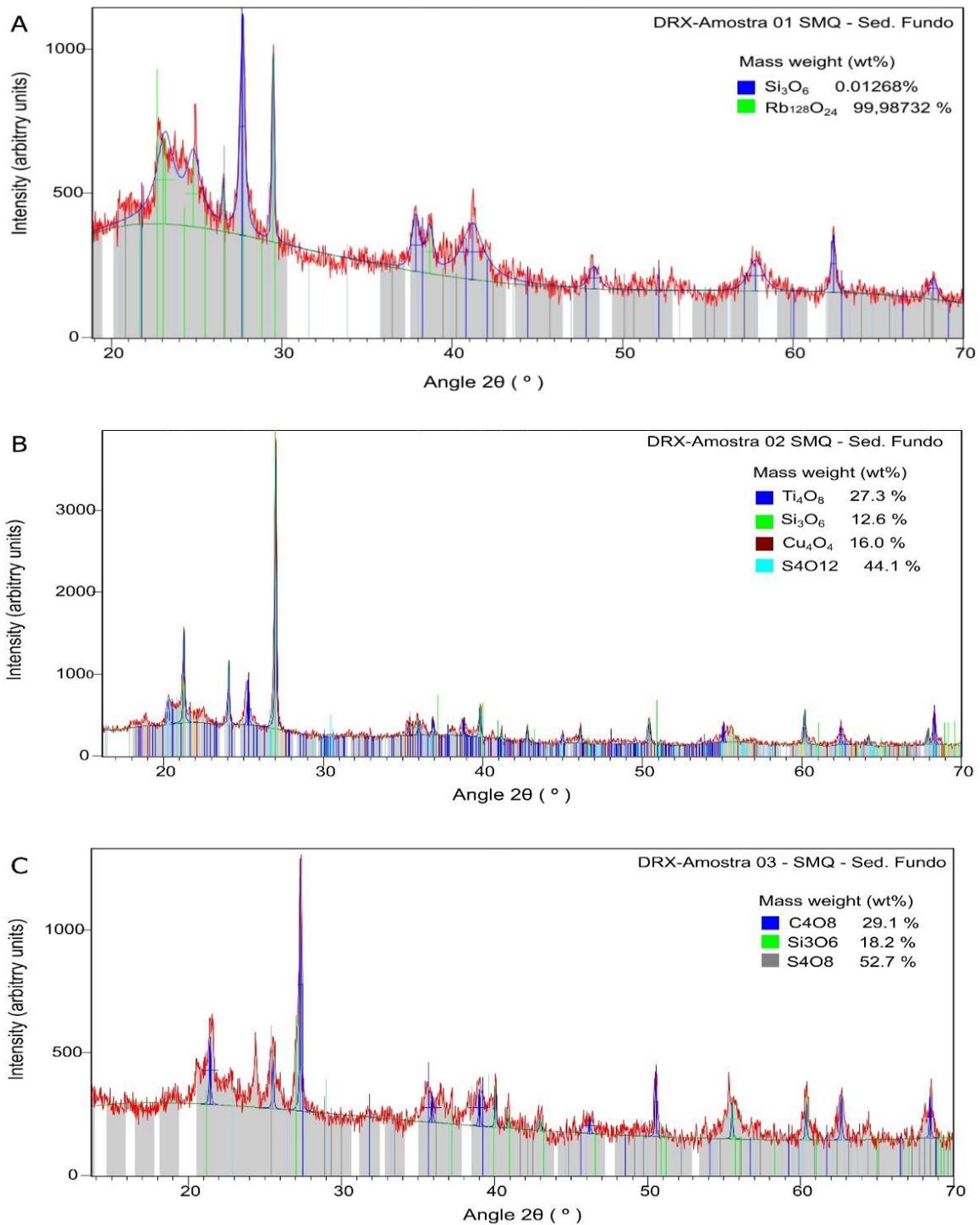
**Fonte:** O próprio autor (2024).

Como a área de coleta é um ambiente de um cemitério, mesmo com pouco atividade antrópica, o uso de ferramentas, produtos cimentício, tintas e aterro para o pavimento de arruamento podem ser elementos que corroboraram para a identificação das fases apresentadas (Figura 9, item A e B), mesmo que os óxidos titânio, cobre, silício, rubídio e manganês (material polimorfo) não sejam resultados da geoquímica local, pode-se inferir que são materiais alóctone.

### **Sedimento de fundo, Área - Sítio Mãe Quinó (SMQ)**

Dentre as fases identificadas na área do Sítio Mãe Quinó (Figura 10) apareceram dois compostos diferentes em relação ao padrão das fases quantificadas para amostras de fonte de sedimento.

**Figura 10** - Espectros DRX e teores mineralógicos pelo refinamento de Rietveld, amostras de sedimentos de fundo, Sítio Mãe Quinó, Igarapé Mato Grosso, Porto Velho-RO.



**Fonte:** O próprio autor (2024).

O padrão XRF (Figura 10) quantificou para o item “B”  $\text{S}_4\text{O}_{12}$  e “C” ( $\text{S}_4\text{O}_8$ ;  $\text{C}_4\text{O}_8$ ), considerando a geoquímica explicitada para fontes de sedimento, os compostos dos dióxidos de Cu, Ti, Si e Rb podem ser material polimorfo e até alóctone, porém, quanto

as fases dos compostos polimorfos de óxidos ou dióxidos de carbono e enxofre podem ter uma explicação que se aproxima mais da característica da área de coleta.

No ponto onde o curso d'água é mais largo, é visível vegetação e troncos submersos na água que caracteriza a decomposição da matéria orgânica e pode justificar a quantificação na fase identificado para material polimorfo de carbono.

Com o processo de decomposição ocorre a liberação de gases, um deles o "S", que também tem sua fase justificada pela condição da matéria orgânica. Outro fator que pode explicar a presença do enxofre é o manejo do solo com uso de fertilizantes, Albuquerque, Azambuja e Lins (2005), e o carbono da queima efetuado na limpeza do solo no período chuvoso transporta os sedimentos para o curso d'água.

Outra perspectiva para a presença desses compostos no sedimento de fundo ( $S_4O_8$ ;  $S_4O_{12}$ ) além de inferir a ocorrência de processos naturais de ciclagem de enxofre poderia ser a influência de atividades humanas que introduzem esses compostos no ambiente aquático, seja por efluentes industriais ou domésticos.

A presença do composto pode ocorrer por gás sulfídrico ( $H_2S$ ) de cor incolor, odor pujante, tendo fonte de decomposição anaeróbica, excrementos como por exemplo de suínos de acordo com Sampaio, Naas e Salgado (2006), a montante do SMQ há um loteamento chacareiro, Recanto dos Pássaros onde pode ser que tenha criação de animais e seus rejeitos podem ser carreados para o curso d'água.

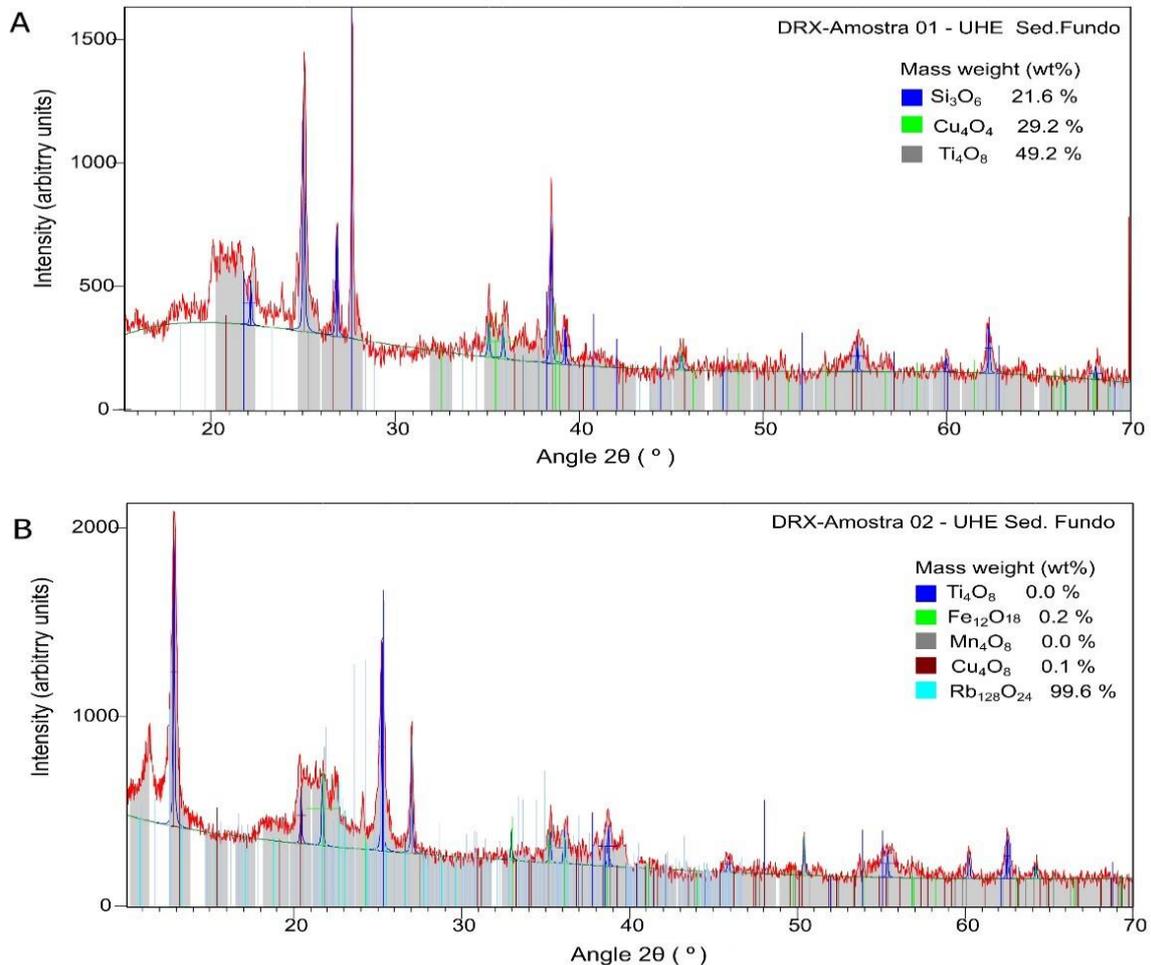
### **Sedimento de fundo, Estrada da Usina Santo Antônio**

O padrão DRX para amostras coletadas na Estrada da Usina Santo Antônio (Figura 11) estão entre 3 a 5 fases que quantificaram os mesmos elementos presentes em amostras de fontes de sedimentos. Para esta análise também será considerado os compostos sobre as variações das estruturas cristalinas como sendo material polimorfo, supondo que são originados de óxidos ou dióxidos, considerando apenas dois compostos e para todos eles o oxigênio está presente.

Quanto a característica da localização geográfica nesse ponto de coleta pode-se inferir que o teor de Rb que ficou acima de 99% na área da Britamar pode ter influência na fase identificado para Rb (Figura 11) item "B" que também ficou com uma quantificação acima de 99%, e o ponto de coleta está a jusante da área da Britamar e do bairro Vila Princesa, onde foi identificado fases com material polimorfo de titânio e sílica acima de 90% e ferro acima de 50%, que podem ter sido carreados dessas fontes,

visto que a topografia do relevo favorece o transporte impulsionado por gravidade e por eventos de chuva com transporte de sedimentos para o curso do igarapé.

**Figura 11** - Estrada da Usina Santo Antônio.



**Fonte:** O próprio autor (2024).

Nesse ponto de coleta (Figura 11) foram observados blocos de granitos inseridos no curso do igarapé servindo como represamento para água, o que pode justificar a presença de sílica no local em forma de quartzo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A classificação textural com destaque arenoso evidencia a propensão para a desestabilização dos macroagregados, exceção em área florestada com comgranulometria expressiva para argila.. A análise química corrobora com a composição da geoquímica dos sedimentos identificados com fluorescência de raios

X por dispersão em energia e demonstram presença de macronutrientes no solo. O maior teor de fósforo, potássio e alumínio foi no bairro Vila Princesa.

Espectrometria de fluorescência de raios X por dispersão em energia com análise qualitativa identificou os compostos de dióxidos presentes nas amostras como P, K, Al, Mn, Ti, Si, Fe, Cu, S, Ca, Zr e northeram análises de difração de raios X. O padrão para maior variação dos dados e carga nos componentes principais foram: Si e K para os três tipos de amostras de fonte de sedimento, sedimento de fundo e sedimento em suspensão.

O método Rietveld demonstrou que uma mesma área pode apresentar estrutura mineralógica intrínseca constatado com a variação entre 2 a 5 fases cristalográficas. O padrão da difração dos raios X identificou que os minerais sofrem alterações na sua estrutura e que as diferentes fases na composição e quantificação mineralógica dos sedimentos podem ser ferramentas úteis para instrumento de monitoramento e gestão ambiental para elaborar plano de ação a partir de informações geoquímicas.

Em amostras de sedimento de fundo no Sítio Mãe Quinó, além de outros elementos, foram identificados carbono e enxofre, as características de parte do local assemelha a um lago e propicia a decomposição de matéria orgânica.

Infere-se que a litoestratigrafia da bacia do igarapé Mato Grosso corrobora com as variáveis presentes nas amostras devido processos geológicos e formação de rochas *in situ* como Al, Si, Cu, Fe, Mn, K e até outras rochas em menor proporção.

A problemática ambiental mais impactante é a proximidade do bairro Vila Princesa com a área da lixeira que atendeu o município de Porto Velho e foi desativado em 2024. Há vários materiais de descarte nos quintais, objetos empilhados, produtos que podem conter elementos que ao deteriorar podem liberar partículas poluentes associada a íon transportados com sedimento para afluente de primeira ordem do igarapé Mato Grosso.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR), ao Programa de Desenvolvimento da Pós-Graduação (PDPG), Fundação de Amparo à Pesquisa (FAPERO), CAPES/CNPq pela bolsa de doutorado da primeira autora e a parceria com os professores Dr. Alexandre Pancotti, Depto. de Física-UFJ-GO; Dr. Roniere Soares -

UFCEG-PB; Dr. Fábio Melquiades, Depto. de Física – UEL; Dra. Mariangela, Depto. de Química – UNIR e ao laboratório de Solos Eng. Agrônomo Ivo Cavalcante de Miranda - Centro Universitário São Lucas/Afya, Ji-Paraná-RO.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, G. A, S. C.; AZAMBUJA, R. S.; LINS, F. A. F. **Enxofre. Rochas e Minerais Industriais**. CETEM, 2005. Disponível em:

<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1042/3/06.%20Agrominerais%20-%20ENXOFRE.pdf>. Acesso: 10 maio 2024.

AGOSTINHO, M. S. P.; POLETO, C. Sistemas sustentáveis de drenagem urbana: dispositivos. **HOLUS Environment**, v. 12, n. 2, p. 121, 2012. Disponível em:

<https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/3054/4903> > Acesso: 23 jun. 2024.

AMARAL, P. H. M.; PEIXOTO, S. J.; MACHADO, M. MARLON MORAES.; ROCHA, C. H. B.; ALVES, R. G. Caracterização granulométrica do sedimento de nascentes tropicais em áreas plantadas com eucalipto. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 4, p.1075-1084, out./dez., 2020. Doi: <https://doi.org/10.5902/1980509839523>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cflo/a/tpswjdbbdmT5b7xSbjCB5BF/?format=pdf&lang=pt> > Acesso: 23 jun. 2024.

AZAMBUJA, J. M. V. **O solo e o clima na produtividade agrícola: agrometeorologia, fitossanidade, conservação do solo, fertilidade do solo, edafologia e calagem**. GUAÍBA: Agropecuária, 1996. 163 p.

BRADY, Nyle C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 878 p., 1989

BURIOL, T. M.; BULINGON, L.; MINELLA, J. P. G. **Implementação de um modelo para análise de incertezas em traçagem de sedimentos**. XI ERMAC-RS. Pelotas, 29-30 jun., 2023. Disponível em:

<https://www.even3.com.br/anais/xiermacrs/628002-implementacao-de-um-modelo-para-analise-de-incertezas-em-tracagem-de-sedimentos/> > Acesso: 20 mar.2024.

CHAVES, H. M. L. Relações de aporte de sedimento e implicações de sua utilização no pagamento por serviço ambiental em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 24, p.1469-1477, 2010. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/st9VTPrQnqMS4kts6TtgZRy/?format=pdf&lang=pt> > Acesso: 23 jun. 2024.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2 ed. Interferência. Rio de Janeiro, 2008.

CALLISTO, M.; ESTEVES, F. A. Composição granulométrica do sedimento de um lago amazônico impactado por rejeito de bauxita e um lago natural (Pará, Brasil). **Acta Limnológica Brasilensia**, v. 8, p. 115-126, 1996. Disponível em: <<https://app.periodikos.com.br/article/6279b760782aado44755f4a7/pdf/alb-8-1-115.pdf>> Acesso: 23 jun. 2024.

COSTA, A. F.; MALAGUTTI FILHO, W. Caracterização estrutural e geofísica da lixeira de Porto Velho (RO). **Geociência**, v. 27, n.2, p. 229-236, 2008.

COLLINS, A. L.; BLACKWELL, M.; BOECKX, P.; CHIVERS, C.A. ; EMELKO, M.; EVRARD, O.; FOSTER, I.; GELLIS, A.; GHOLAMI, H.; GRANGER, S.; HARRIS, P.; HOROWITZ, A.; LACEBY, J.P.; MARTINEZ-CARREAS, n.; MINELLA, J.; MOL, L.; NOSRATI, K.; PULLEY, S.; SILINS, U.; SILVA, Y. J.; STONE, M.; TIECHER, T.; UPADHYAY, H. R.; ZHANG, Y. Sediment source fingerprinting: benchmarking recente outputs, remaining challenges and emerging themes. **Journal of Soils and Sediments**, v. 20, p.4160-4192, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02755-4>. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11368-020-02755-4>> 30 ago. 2022.

CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta geológica: folha Porto Velho - SC.20-V-B-V. Mapas**. CPRM. 8 de nov., 2012. Disponível em: [https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/14806/1/Folha\\_Porto\\_Velho\\_Geologico\\_08\\_Nov\\_2012.pdf](https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/14806/1/Folha_Porto_Velho_Geologico_08_Nov_2012.pdf). Acesso: 30 abr. 2024.

CUNHA, M. C. Caracterização das estradas rurais não pavimentadas como elementos presentes na paisagem da bacia hidrográfica do rio das pedras, Guarapuava-PR. **GEOMAE**, v. 1, n.2, p.37-91, 2010. Disponível em: <<https://periodicos.unespar.edu.br/geomae/article/view/5754>> Acesso: 20 marc. 2022.

CUNHA, T. A.; NUNES, D. D.; WATAABE, M.; NUNES, A. C. S.; MARTINS, P. A. S.; M. R. S.; FLORESTA, D. C. B. Análise da interferência da abertura de estradas nos parâmetros morfométricos da rede de drenagem da bacia hidrográfica do alto rio das Garças – Rondônia, Amazônia Sul Ocidental. **Cuadernos de educación y desarrollo**, v. 16, n.3, p.01-28, 2024. DOI: 10.55905/cuadv16n3-056. Disponível em: <<https://ojs.europublications.com/ojs/index.php/ced/article/view/3639>> Acesso: 27 jun. 2024.

CULLITY, B. D.; STOCK, S. R. **Elements of X-ray diffraction**. Third Edition. PEARSON. 2014. ISBN 13: 978-1-292-04054-7. Disponível em: <<https://www.eng.uc.edu/~beaucag/Classes/AdvancedMaterialsThermodynamics/Books/B.D.%20Cullity,%20S.R.%20Stock%20-%20Elements%20of%20X->

[Ray%20Diffraction-Pearson%20Education%20Limited%20\(2014\).pdf](#)> Acesso: 18 jun. 2024.

DE CASTILHOS, D.B.; MELQUIADES, F. L.; THOMAZ, E. L.; BASTOS, R. O. X-ray fluorescence and gamma-ray spectrometry combined with multivariate analysis for topographic studies in agricultural soil. **Appl Radiat Isto**, v.95, 63-71, jan., 2015. Doi: 10.1016/j.apradiso.2014.09.013.

DA CUNHA KEMERICH, P. D., SCHMACHTENBERG, N., GRAEPIN, C. DE BORBA, W. F., GERHARDT, A. E., BALESTRIN FLORES, C. E., BARROS, G., RODRIGUES F. J. Potencial de contaminação do solo em cemitério na cidade de Seberi – RS.

**Ciência e Natura**, v. 35, n.2, dez., p. 119-125, 2013. Doi:

<http://dx.doi.org/10.5902/2179-460X841>. Disponível em:<

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25464179/>> Acesso: 25 jun. 2024.

DIB NETO, R.G.; MACEDO, W. C.; FERNANDES, A. E. S.; TEIXEIRA, S. R.; ROCHA, K. O.; LONGO, E. Manganese oxides synthesized via microwave-assisted hydrothermal method: phase evolution and structure refinement. **Revista Matéria**, v. 27, n.3, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2022-48061>.

DUARTE, H. A. Ferro um elemento químico estratégico que permeia história, economia e sociedade. **Química Nova**, vol. 42. No. 10, p.1146-1153, 2019. Doi:

<http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170443>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rmat/a/gcRQLdQrNJs8jGJzZQc99NP/?format=pdf&lang=en>. Acesso: 23 abr. 2024.

ESTEVES, F. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 790 p.

FERRONATO, N.; TORRETA, V. Waste Mismanagement in Developing Countries: A Review of Global Issues. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n.6, 2019. Doi: [doi.org/10.3390/ijerph16061060](https://doi.org/10.3390/ijerph16061060).

FERREIRA, M. M. C.; ANTUNES, A. M.; MELGO, M. S.; VOLPE, P. L. O.

Quimiometria I: calibração multivariada, um tutorial. **Química Nova**, v. 22, n.5,

1999. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-40421999000500016>. Disponível em:<

<https://www.scielo.br/j/qn/a/kDYTsX5cKvQxzFpdQft7TXw/?lang=pt#>> Acesso: 25 jun. 2024.

GONZALEZ, A. Z. D.; SILVA, J. L. A.; PAULA, W. C. S.; SOUZA, C. A.

Susceptibilidade à erosão marginal no perímetro urbano de Cáceres-MT. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 15, n.1, p.518-534, 2022. DOI:

<https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p518-534>. Disponível em:<

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/252558>> Acesso: 22 ago. 2022.

GOVERNO DO ESTADO DE RONÔNIA. **Decreto N° 5124/06/1991.**

Governadoria, 1991. Disponível em:

<http://ditel.casacivil.ro.gov.br/COTEL/Livros/Files/D5124.pdf>. Acesso: 01 de maio 2024.

HUSSEIN, I. A. S., & MONA, S.M. Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. **Egyptian Journal of Petroleum**, v. 27, n.4, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. Diretoria de Geociências. Coordenação de Recursos Naturais e Meio Ambiente. Divisão hidrográfica Nacional – DHN250: Documentação técnica. **IBGE**. Rio de Janeiro. Versão set., 2021. Disponível em:<

[https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/estudos\\_ambientais/bacias\\_e\\_divisoes\\_hidrograficas\\_do\\_brasil/2021/Divisao\\_Hidrografica\\_Nacional\\_DHN250/vetores/Documentacao\\_Tecnica\\_DHN250.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/bacias_e_divisoes_hidrograficas_do_brasil/2021/Divisao_Hidrografica_Nacional_DHN250/vetores/Documentacao_Tecnica_DHN250.pdf)> Acesso: 10 dez. 2022.

\_\_\_\_\_. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3ª Edição. Rio de Janeiro, 2013.

Disponível em:

<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/bibliotecacatalogo?id=281615&view=detalhes>. Acesso: marc. 2022.

JIA, L.; YANG, L.M.; WANG, W.; HUANG, S.T.; XU, Z. Preparation and characterization of Rb-doped TiO<sub>2</sub> powders for photocatalytic applications. **Rare metals**. vol. 43, p. 555-561, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12598-019-01241-2>.

Disponível em: <https://link-springer-com.ez8.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s12598-019-01241-2>. Acesso: 07 maio 2024.

JOENSUU, M.; PILDITCH, C.A.; HARRIS, R.; HIETANEN, S.; PETTERSSON, H.; NORKKO, A.; **Limnology and Ocenography**, v.63, p. 173-186, 2018. Doi:

<https://doi.org/10.1002/lno.10622>. Disponível em:

<<https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/lno.10622>> Acesso: 23 jun. 2024.

KOUMROUYAN, A.; SANTANA, G. P. Química de elementos-traço nos sedimentos do Lago do Parú (Manacapura – Amazonas), sob influência do pulso de inundação do baixo Rio Solimões. **Acta Amazonica**, v. 38, n.3, p. 491-502, 2008. Doi:

<https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000300014>. Disponível em:<

<https://www.scielo.br/j/aa/a/h7CJ8KdcyQKj8N7QPktY4Kn/abstract/?lang=pt>>

Acesso: 13 set. 2023.

LENSE, G. H. E.; PARREIRAS, T. C.; SPALEVIC; AVANZI, J.C.; MINCATO, R. L. Soil in the state of Rondônia, Brazil. **Ciência Rural**, v. 51, n.5, 2021. Doi:

<http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200460>. Disponível em:<  
<https://revista.ibict.br/liinc/article/view/5995/5610>> Acesso: 25 jun. 2024.

MARTELLI, C. M.; MOCHIUTTI, E.; LIMA, J. P.; NEVES, R. F. Quantificação de mullita proveniente de resíduos de caulim da região amazônica: uso do método de Rietveld. **Química Nova**, vol. 44, n.4, p.402-409, 2021. Doi:  
<http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170696>. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/qn/a/TNwc9zXvXVK84nR9F9sxn/?format=pdf&lang=pt>.  
Acesso: 23 abr. 2024.

MELO, D. P.; COSTA, R. C. R.; NATALI FILHO, T. **Geomorfologia**. In: \_\_\_\_\_  
BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL.  
Folha SC. 20 Porto Velho; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso  
potencial da terra. Rio de Janeiro, 1978, cap. 2, p.187-250.

MILANI, R.; LORENZI, R. F.; SOARES, G. V.; FIGUEROA, C.A.; CARDOSO, R. P.;  
BELMONTE, T.; BAUMVOL, I. J. R.; PEROTTONI, C. A.; ZORZI, J. E. Dureza e  
resistência ao desgaste da camada de ZrN formada por nitretação a plasma sobre  
zircônia parcialmente estabilizada com ítria. **Cerâmica**, n.56, p. 300-304, 2010.  
Disponível em: N.56, p. 300-304, 2010.  
<https://www.scielo.br/j/ce/a/bj4pdtfLxwwV7zdXBMZMMvm/?format=pdf&lang=pt>.  
Acesso: 10 maio 2024.

MINELLA, J. P.G.; WALLING, D. E.; MERTEN, G. H. Establishing a sediment  
budget for a small agricultural catchment in southern Brazil, to support the  
development of effective sediment management strategies. **Journal of Hydrology**,  
v. 519, p.2189–2201, 27 nov., 2014. Doi:  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.10.013>. Disponível em:<  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169414007938>>  
Acesso: 16 ago. 2019.

NAVROTSKY, A.; MAZEINA, L.; MAJLAN, J. Size-driven structural and  
thermodynamic complexity in iron oxides. **SCIENCE**, vol. 319, p.1635-1638. 21  
marc., 2008. Doi: <https://doi.org/10.1126/science.1148614>. Disponível em:  
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.1148614>. Acesso: 08 maio 2024.

PAULA, R. T.; ROCHA, G. C. Caracterização física e mineralógica de materiais  
intempéricos na área urbana de Juiz de Fora – MG, através de análise macroscópica,  
difratômetro de raios X (DRX) e microscópio eletrônico de varredura (MEV).  
**Revista brasileira de geografia física**, v. 14, n.3, p.1787-1804, 2021. Doi:  
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1787-1804>. Disponível em:<  
<https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/245384>> Acesso:  
20 jun. 2024.

PHILLIPS, J. M.; RUSSEL, M. A.; WALLING, E. E. Time-integrated sampling of fluvial suspended sediment: a simple methodology for small catchments.

**Hydrological Processes**, v. 14, p. 2589-2602, 2000. Doi:

[https://doi.org/10.1002/1099-1085\(20001015\)14:14%3C2589::AID-HYP94%3E3.O.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/1099-1085(20001015)14:14%3C2589::AID-HYP94%3E3.O.CO;2-D). Disponível em: <

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/1099-1085%2820001015%2914%3A14%3C2589%3A%3AAID-HYP94%3E3.O.CO%3B2-D>>

Acesso: 01 jul. 2022.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo. Ed. Nobel, 2002.

POLETO, C. Fontes potenciais e qualidade dos sedimentos fluviais em suspensão em ambiente urbano. 2007. 159f. **Tese** (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

QUADROS, M. L. E. S. RIZZOTTO, G. J. **Geologia**. In: \_\_\_\_\_. Geologia e recursos minerais do Estado de Rondônia. Sistema de Informações Geográficas – SIG. Programa Geologia do Brasil. Integração de dados da geologia do Brasil. Mapas geológicos estaduais, escala: 1:1000.000. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Serviço Geológico Do Brasil-CPRM, 2007, cap. 3, p. 12-67. Disponível em: <

<https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/10277?mode=full>> Acesso: 25 abr. 2024

QUEIROZ, M. M. A.; HORBE, A. M. C.; MOURA, C. A. V. Mineralogia e química dos sedimentos de fundo do médio e baixo Madeira e de seus principais tributários – Amazonas – Brasil. **Acta Amazonica**, vol. 41 (4), p. 453-464, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/HhQSBBrQ8Qx4c9mvzDsKzSYs/?format=pdf&lang=pt>. Acesso: 10 maio 2024.

SAMPAIO, C. A.; NAAS, I. A.; SALGADO, D. D'alessandro. Amônia, gás sulfídrico, metano e monóxido de carbono na produção de suínos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, vol.5, n.2, p. 156-164, 2006. Disponível em:

<https://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5391>. Acesso: 10 maio 2024.

SALUM, A. S.; VEIGA, P. A. S.; LODDI, T.; GULMINE, J. V.; SWINKA FILHO, V. Modification of high-density polyethylene using functionalized titanium dioxide nanoparticles. **Revista Matéria**. Vol. 27, n. 1, 2022. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rmat/a/LzMZXb9P6BRcVHFc6Yd6hDt/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 10 maio 2024.

SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL NÚCLEO DE SENSORIAMENTO REMOTO E CLIMATOLOGIA-SEDAM. **Atlas Geoambiental**

**de Rondônia**. Ed. Digital, 2003. Disponível em: < <https://pdfcoffee.com/atlas-geoambiental-de-rondonia-pdf-free.html> > Acesso: 20 maio 2022.

SILVA E. P.; SIQUEIRA, E. Q.; SCHIMIDT, F.; GUEDES, C. S. Determinação de metais pesados em sedimentos urbanos por fluorescência de raios x. **Holos Environment**. v. 14, n.1, p.87, 2014. Doi: <https://doi.org/10.14295/holos.v14i1.7987>. Disponível em: < <https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/7987> > Acesso: 23 abr. 2023.

SOARES, R. L.; CASTRO, W. B. Effect of Cooling Rate on the Transformation Temperatures of Ni<sub>50</sub>Ti<sub>36</sub>Hf<sub>14</sub> Melt-Spun Ribbons. **Materials Science Forum**, vol. 930, p.345-348, jan.2018. Doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.930.345>.

SOUZA, E. S.; COSTA, C. E. A. S.; SOUZA, M. M.; PROGÊNIO, M. F.; CONCEIÇÃO, R. P. Projeções futuras de sedimentos no rio Tapajós e sua possível relação com áreas de garimpo. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 31, n.1, p.1-28, 2023. Doi.org/10.5585/2024.25085. Disponível em: < <https://periodicos.uninove.br/geas/article/view/25085/10929> > Acesso: 25 jun. 2024.

SONNEVELD, E., VISSER, J. Automatic collection of powder data from photographs. **Journal of Applied Crystallography**, v. 8, n. 1, p. 1-7, 1975. Doi:[<https://doi.org/10.1107/S0021889875009417>]. Disponível em: < <https://journals.iucr.org/paper?S0021889875009417> > Acesso: 27 jun. 2024.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p. il. color. ISBN 978-85-7035-771-7. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1085209>> Acesso: 06 ago. 2022.

TUCCI, C. E. M. **Elementos de engenharia de sedimentos**. In: \_\_\_\_\_. Hidrologia: ciência e aplicações. Porto Alegre: Ed. ABRH-EDUSP, 1993, cap. 24, p. 915-139.

THOMAZ, E. L.; MELQUIADES, F. L. Discriminação de marcadores de proveniência de sedimento em bacia rural por meio de EDXRF. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n1, p.95-102, 2009. Doi: <https://doi.org/10.20502/rbg.v10i1.122>. Disponível em: < <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/122> > Acesso: 10 jul. 2022.

THOMAZ, E. L.; PEREIRA, A. A. Estrada rural não pavimentada como fonte de escoamento superficial e sedimento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 1, 2013. Doi: <https://doi.org/10.20502/rbg.v14i1.212>.

THOMAZ, E. L.; PERETO, G. T. Hydrogeomorphic connectivity on roads crossing in rural headwaters and its affect on stream dynamics. **Science of The Total Environment**. V. 550, n.15, April, p. 547-555, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.100>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969716301000>> Acesso: 23 jun. 2024.

THOMAZ, E. L. Fire changes the larger aggregate size classes in slash-and-burn agricultural systems. **Soil and Tillage Research**. V. 165, p. 210-217, January 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.08.018>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198716301787>> Acesso: 23 jun. 2024.

VAVERKOVÁ, M. D. Landfill Impacts on the Environment—Review. **Geosciences**, v. 9, n.10, p. 431, 2019. Doi: <https://doi.org/10.3390/geosciences9100431>.

WATANABE, M. Análise do impacto do desmatamento no aporte sedimentar de bacias pareadas na Amazônia ocidental: Bacias do Rio Mutum Paraná- Rondônia (Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.19, n.3, p.601-615, jul./set., 2018. Doi: <https://dx.doi.org/10.20502/rbg.v19i3.1287>. Disponível em: <<https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1287/386386399>> Acesso: 09 set. 2019.