

MONITORAÇÃO DE RADIONUCLÍDEOS NATURAIS EM AMOSTRAS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA PARA ESTUDOS AMBIENTAIS¹

Julia Yumi Fontes Jamatto²

Estudante/IFSP

Bolsista de Iniciação Científica/IFSP

Pedro Miranda Junior³

Professor/IFSP

Orientador de Iniciação Científica/IFSP

RESUMO

A monitoração da concentração de radionuclídeos naturais e artificiais em amostras ambientais é um tema relevante de pesquisa para estudo de processos climáticos e fatores antropogênicos que os afetam. Neste contexto, este trabalho apresenta uma pesquisa bibliográfica no site do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) com o intuito de encontrar similitudes entre os artigos focados na concentração de ^7Be e ^{210}Pb . Após a análise do resumo de 40 documentos, que eram relevantes ao tema e publicados no período de 2012 e 2022, notou-se a predominância de resultados em países acima da linha do Equador e, além disso, que a concentração do radionuclídeo ^7Be aumenta entre a primavera e o verão, enquanto a do ^{210}Pb se destaca nos períodos mais frios do ano.

PALAVRAS-CHAVE

Radionuclídeos; ^7Be ; ^{210}Pb ; pesquisa bibliográfica.

¹ Trabalho vinculado à iniciação científica de mesmo título.

² <http://lattes.cnpq.br/8204204618348442>

³ <http://lattes.cnpq.br/4935115730688093>

NATURAL RADIONUCLIDES MONITORING IN RAINFALL SAMPLES FOR ENVIROMENTAL ANALYSIS

ABSTRACT

The natural and artificial radionuclides concentration monitoring on environmental samples is a relevant research theme for the analysis of atmosphere process and anthropologist factors that affect the presence of radionuclides. Therefore, this work presents bibliographic research in Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) website with the intention to find similarities between the articles focused in the beryllium-7 and lead-210 concentrations. After the analysis of 40 documents abstract, which are relevant to the theme and published between 2012 and 2022, it was noticed predominantly countries above the Equator line and besides the beryllium-7 concentration rises during the spring and summer, while the lead-210 concentration is higher when the temperatures fall.

KEYWORDS

Radionuclides; beryllium-7; lead-210; bibliographic research

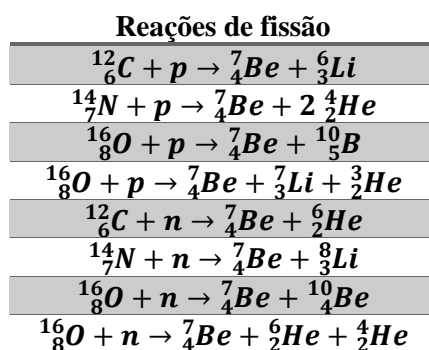
INTRODUÇÃO

A atmosfera, além de conter os seus principais componentes, como nitrogênio, oxigênio, vapor de água, gás carbônico, argônio e outros (UFPR), contém partículas associadas a elementos instáveis, também denominadas de aerossóis radioativos. Primeiramente, entende-se o termo “partículas aerossóis” como compostos sólidos ou líquidos, de tamanho variável dentro da escala de micrômetros e originárias da condensação de gases ou vapores (PAPASTEFANOU, 2008).

Sabendo disso, os aerossóis radioativos, de acordo com Papastefanou (2008), podem ser classificados em seis categorias: 1) associados a radionuclídeos com origem cosmogênica, 2) produtos do decaimento nuclear do Rn-220 e Rn-222, 3) produtos da fissão nuclear, 4) associados à operação de aceleradores de alta energia, 5) produtos de testes de armas nucleares ou acidentes envolvendo reatores nucleares e 6) originários das rochas. Dentre as subdivisões citadas, o projeto trabalha, essencialmente, com um nuclídeo radioativo de origem cosmogênica, berílio-7 (${}^7\text{Be}$), e um dos produtos do decaimento nuclear do radônio-222, o chumbo-210 (${}^{210}\text{Pb}$).

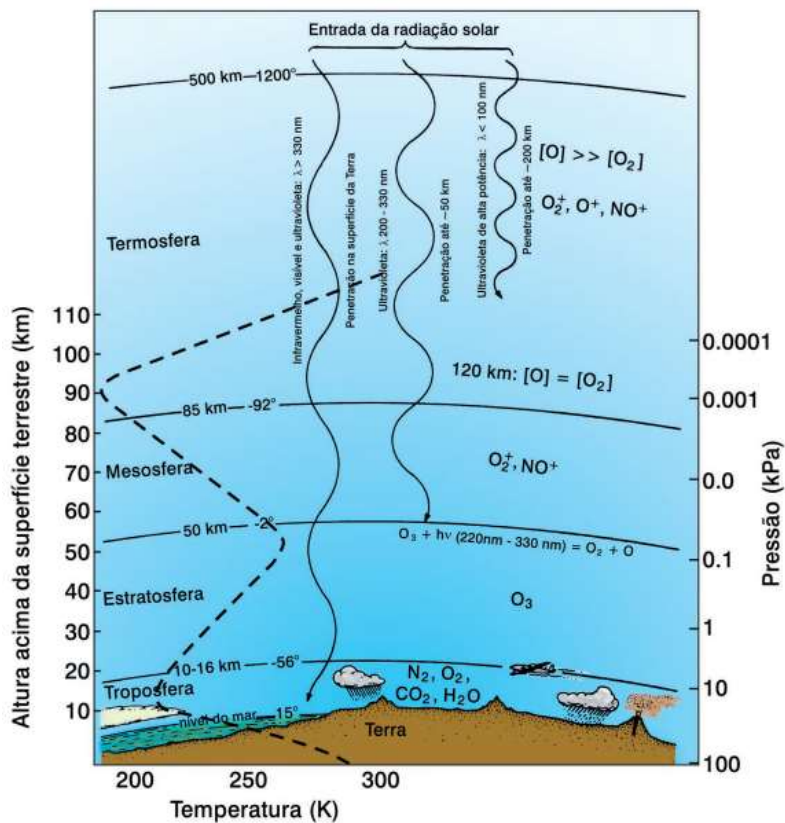
O primeiro mencionado, ${}^7\text{Be}$, possui um tempo de meia-vida relativamente curto, de 53,3 dias, e é formado naturalmente através da interação da radiação solar com alguns dos átomos presentes na atmosfera: ${}^{12}\text{C}$, ${}^{14}\text{N}$ e ${}^{16}\text{O}$ (PAPASTEFANOU, 2008), obtendo o Quadro 1.

Quadro 1 – Reações de fissão nuclear com a formação de Be-7 (adaptado de Papastefanou (2008, p. 12)).



Tais reações apresentadas no Quadro 1 ocorrem, em sua grande maioria (70%) na estratosfera, a segunda camada atmosférica mais próxima do solo terrestre, como mostra a Figura 1, e o restante acontece na troposfera (DAMATTO, 2005).

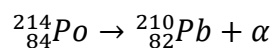
Figura 1 – As principais regiões da atmosfera terrestre.



Fonte: <http://qnesc.s bq.org.br/online/cadernos/01/atmosfera.pdf>

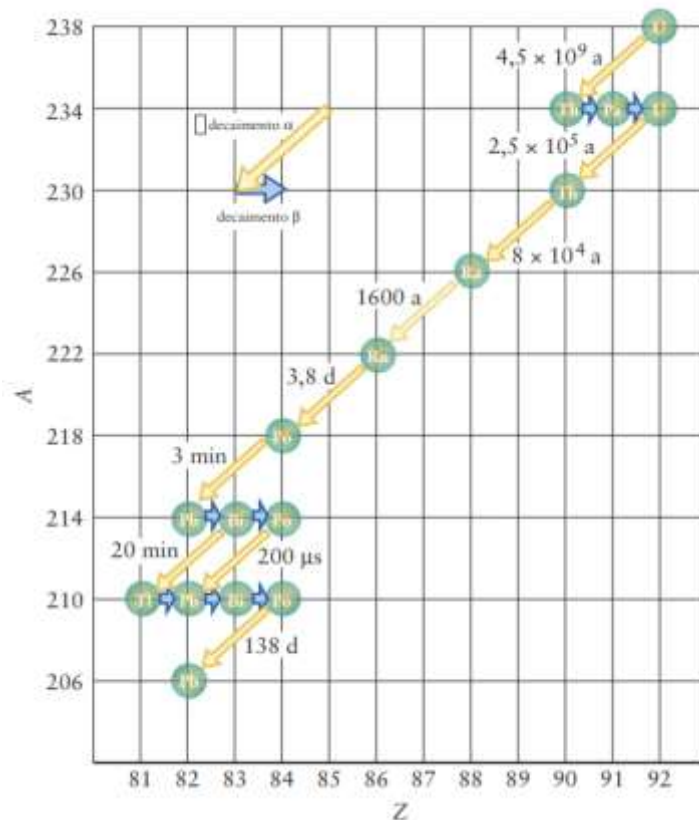
Entretanto, independentemente da camada na qual o radionuclídeo é produzido, ele é levado ao solo por meio, principalmente, da precipitação pluviométrica.

Por outro lado, o chumbo-210 provém, a princípio, de uma série de decaimentos nucleares, tendo como ponto de partida o U-238, como apresenta a Figura 2. Deste radioisótopo, obtém-se o radônio-222, que tem um tempo de meia-vida equivalente a 3,8 dias (CONSTANTINO, 2020) e é encontrado em grandes quantidades nas rochas terrestres. Sendo assim, os átomos instáveis vão sofrendo seus respectivos decaimentos até que o Po-214 é formado, liberado na atmosfera e emite uma partícula alfa, resultando no Pb-210, reação mostrada na Equação 1.



Equação 1 – Decaimento nuclear do ²¹⁴Po emitindo uma partícula alfa. Fonte: autoria própria.

Figura 2 – Decaimento nuclear do U-238.



Fonte: Atkins (2012, p. 713).

Semelhantemente ao radionuclídeo do berílio, o chumbo-210 é depositado no solo por meio da precipitação pluviométrica, portanto, ambas espécies podem ser estudadas através da coleta de águas pluviais, atividade praticada mundialmente na área da Química Ambiental e que possibilitou a visualização de variações na concentração destes radioisótopos em relação às condições ambientes.

Portanto, as atividades destes aerossóis radioativos foram trabalhadas não só por meio da coleta pluvial, como também por amostras atmosféricas e sedimentares e os artigos publicados com base nesses estudos serão analisados e agrupados de acordo com as similaridades.

OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo analisar os resumos de 38 artigos que têm em comum o estudo das concentrações de Be-7 e Pb-210 em amostras ambientais e, assim, identificar os tipos de pesquisas realizadas com os radionuclídeos em questão e compreender as amostras ambientais mais utilizadas. Juntamente, há o interesse de

traçar um panorama que relacione o estudo descrito com as características específicas, como o local, a periodicidade e as condições climáticas.

METODOLOGIA

Para a construção do *corpus* de dados para esta pesquisa, utilizou-se de artigos de periódicos, tanto nacionais quanto internacionais, coletados por meio da Comunidade Acadêmica Federal (CAFe) – seção disponível no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Na aba “Acervo” do portal, selecionou-se “Buscar assunto” e, a fim de obter materiais relacionados ao projeto, foram usados como descritores “beryllium-7 AND lead-210”, resultando em 148 artigos. Utilizando-se dos filtros de busca para diminuir a quantidade de documentos, aplicou-se “Periódicos revisados por pares”, “Artigos” e a data de criação entre 2012 e 2022, chegando em 49 títulos. Estes textos filtrados foram baixados e seus resumos serviram de base para o estudo bibliográfico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os 49 resultados obtidos na busca tiveram seus resumos lidos e avaliados em relação à relevância para o estudo bibliográfico: quatro deles eram idênticos a outros títulos, portanto, acabou-se analisando 45 documentos, os quais estão citados na Tabela 1 juntamente com suas respectivas informações. Com relação ao conteúdo, sete artigos não possuíam relação direta com o tema, assim, conseqüentemente, 38 resumos foram considerados para análise.

Tabela 1 – Informações sobre os artigos utilizados para a revisão bibliográfica.

Título do trabalho	Autores	Ano de publicação	Escopo	Critério de exclusão
Linking sedimentological and spatial analysis to assess the impact of the forestry industry on soil loss: The case of Lanalhue Basin, Chile	ALANIZ, Alberto J.; ABARZÕA, Ana M.; MARTEL-CEA, Alejandra; JARPA, Leonora; HERNÁNDEZ, Marjorie; AQUINO-LÓPEZ, Marco A.; SMITH-RAMÍREZ, Cecilia	2021	Estudo sobre a deposição sedimentar de berílio e chumbo utilizando programas tecnológicos.	
Suitability of $^{239+240}\text{Pu}$ and ^{137}Cs as tracers for soil erosion assessment in mountain grasslands	ALEWELL, Christine; MEUSBURGER, Katrin; JURETZKO, Gregor; MABIT, Lionel; KETTERER, Michael E.	2014		Este artigo trabalha o plutônio, o cézio e a erosão do solo.
Determination of sedimentation, diffusion, and mixing rates in coastal sediments of the eastern Red Sea via natural and anthropogenic fallout radionuclides	AL-MUR, Bandar A.; QUICKSALL, Andrew N.; KASTE, James M.	2017	Análise de berílio e chumbo em sedimentos.	
Comparing carbon sequestration in temperate freshwater wetland communities	BERNAL, Blanca; MITSCH, William J.	2012	Análise da concentração de carbono através de datação radiométrica com chumbo.	
Fallout radionuclide-based techniques for assessing the impact of soil conservation measures on erosion control and soil quality: an overview of the main lessons learnt under an FAO/IAEA Coordinated Research Project	DERCON, G.; MABIT, L.; HANCOCK, G.; NGUYEN, M.L.; DORNHOFER, P.; BACCHI, O.O.s.; BENMANSOUR, M.; BERNARD, C.; FROEHLICH, W.; GOLOSOV, V.N.; HACIYAKUPOGLU, S.; HAI, P. S.; KLIK, A.; LI, Y.; LOBB, D. A.; ONDA, Y.; POPA, N.; RAFIQ, M.; RITCHIE, J. C.; SCHULLER, P.; SHAKHASHIRO, A.; WALLBRINK, P.; WALLING, D. E.; ZAPATA, F.; ZHANG, X.	2012	Amostras de solo para a determinação da concentração de berílio e chumbo.	
Temporal variations of atmospheric depositional fluxes of ^7Be and ^{210}Pb over 8 years (2006-2013) at Shanghai, China, and synthesis of	DU, Juan; DU, Jinzhou; BASKARAN, Mark; BI, Qianqian; HUANG, Dekun; JIANG, Yifei	2015	Estudo da concentração de chumbo e berílio em precipitações pluviométricas.	

global fallout data				
A Review on the Possibilities and Challenges of Today's Soil and Soil Surface Assessment Techniques in the Context of Process-Based Soil Erosion Models	EPPLE, Lea; KAISER, Andreas; SCHINDEWOLF, Marcus; BIENERT, Anne; LENZ, Jonas; ELTNER, Anette	2022		Estudo bibliográfico sobre a erosão e sedimentação.
Storm Layer Deposition on a Coastal Louisiana Lake Bed	FREEMAN, Angelina M.; ROBERTS, Harry H.	2012	Estudo sobre a deposição de radionuclídeos em lagos após a passagem de furacões.	
Using LM-OSL of quartz to distinguish sediments derived from surface-soil and channel erosion	HADDADCHI, Arman; OLLEY, Jon; PIETSCH, Timothy	2015	Análise da concentração de chumbo em sedimentos fluviais.	
Use of fallout tracers ⁷ Be, ²¹⁰ Pb and ¹³⁷ Cs to distinguish the form of sub-surface soil erosion delivering sediment to rivers in large catchments	HANCOCK, Gary J.; WILKINSON, Scott N.; HAWDON, Aaron A.; KEEN, Rex J.	2013	Estudo de chumbo e berílio em amostras sedimentares.	
Beryllium-7 as a natural tracer for short-term downwash in peat	HANSSON, Sophia V.; KASTE, James M.; CHEN, Keyao; BINDLER, Richard.	2014	Monitoração do berílio em amostras de solo.	
Particle dynamics of the Changjiang Estuary and adjacent coastal region determined by natural particle-reactive radionuclides (⁷ Be, ²¹⁰ Pb, and ²³⁴ Th)	HUANG, Dekun; DU, Jinzhou; MOORE, Willard S.; ZHANG, Jing	2013	Estudo de ressuspensão de berílio e chumbo por meio de coluna de água.	
Temporal concentration changes of beryllium-7 and lead-210 in ground level air in Serbia	JANKOVIC, Marija; TODOROVIC, Dragana; NIKOLIC, Jelena; RAJACIC, Milica; PANTELIC, Gordana; SARAP, Natasa	2014	Amostras de ar no nível do solo para estudar a concentração de berílio e chumbo: o Be foi mais perceptível na primavera e no verão, enquanto o chumbo ganhou destaque no outono.	

Molecular fingerprinting of particulate organic matter as a new tool for its source apportionment: changes along a headwater drainage in coarse, medium and fine particles as a function of rainfalls	JEANNEAU, Laurent; ROWLAND, Richard; INAMDAR, Shreeram	2018		Esse artigo aborda a concentração de partículas orgânicas no solo.
A novel tracer technique to quantify the atmospheric flux of trace elements to remote ocean regions	KADKO, David; LANDING, William M.; SHELLEY, Rachel U.	2015	Análise de maneiras distintas e possíveis de determinar a concentração do berílio em precipitações pluviométricas.	
Direct Channel Precipitation and Storm Characteristics Influence Short-Term Fallout Radionuclide Assessment of Sediment Source	KARWAN, D. L.; PIZZUTO, J. E.; AALTO, R.; MARQUARD, J.; HARPOLD, A.; SKALAK, K.; BENTHEM, A.; LEVIA, D. F.; SIEGERT, C. M.; AUFDENKAMPE, A. K.	2018	Monitoração de berílio e chumbo em amostras de precipitação pluviométrica.	
Beryllium-7 wet deposition variation with storm height, synoptic classification, and tree canopy state in the mid-Atlantic USA	KARWAN, D. L.; SIEGERT, C. M.; LEVIA, D. F.; PIZZUTO, J.; MARQUARD, J.; AALTO, R.; AUFDENKAMPE, A. K.	2015	Coleta de precipitação pluviométrica e sedimentos para o entendimento da concentração de berílio.	
Seasonal controls on meteoric ⁷ Be in coarse-grained river channels	KASTE, James M.; MAGILLIGAN, Francis J.; RENSHAW, Carl E.; FISHER, G. Burch; DADE, W. Brian	2013	Determinação da concentração de berílio em amostras sedimentares em canais perenes.	
Using radiometric fingerprinting and phosphorus to elucidate sediment transport dynamics in an agricultural watershed	LAMBA, Jasmeet; KARTHIKEYAN, K. G.; THOMPSON, A. M.	2014	Monitoração da deposição de berílio e chumbo em duas precipitações pluviométricas.	
Beryllium-7 and lead-210 chronometry of modern soil processes: The Linked Radionuclide Accumulation model, LRC	LANDIS, Joshua D.; RENSHAW, Carl E.; KASTE, James M.	2016	Análise de berílio e chumbo em amostras de solo.	
Stratospheric influence on the concentration and seasonal cycle of	LIN, Yu-Chi; HUH, Chih-An; HSU, Shih-Chieh; LIN, Chuan-Yao; LIANG, Mao-Chang;	2014	Estudo da influência da estratosfera na	

lower tropospheric ozone: Observation at Mount Hehuan, Taiwan	LIN, Po-Hsiung		concentração de chumbo e berílio.	
Meteoric ^{10}Be , ^{137}Cs and $^{239+240}\text{Pu}$ as Tracers of Long- and Medium-Term Soil Erosion—A Review	LOBA, Aleksandra; WAROSZEWSKI, Jarosław; SYKUŁA, Marcin; KABALA, Cezary; EGLI, Markus	2022		Este artigo trabalha o radioisótopo Be-10 obtido nos meteoros e outros núclídeos radioativos.
Geochronological and spatial distribution of heavy metal contamination in sediment from Lake Naivasha, Kenya	MAINA, Caroline W.; SANG, Joseph K.; RAUDE, James M.; MUTUA, Benedict M.	2019	Análise da concentração de chumbo em águas de lagos.	
Decadal and long-term boreal soil carbon and nitrogen sequestration rates across a variety of ecosystems	MANIES, Kristen L.; HARDEN, Jennifer W.; FULLER, Christopher C.; TURETSKY, Merritt R.	2016	Estudo da concentração de chumbo em diferentes camadas do solo.	
Combined use of stable isotopes and fallout radionuclides as soil erosion indicators in a forested mountain site, South Korea	MEUSBURGER, K.; MABIT, L.; PARK, J.-H.; SANDOR, T.; ALEWELL, C.	2013		Esse artigo trata da adequação da assinatura estável de nitrogênio e isótopos de carbono como indicadores de erosão do solo.
Excess Lead-210 and Plutonium-239+240: Two suitable radiogenic soil erosion tracers for mountain grassland sites	MEUSBURGER, K.; PORTO, P.; MABIT, L.; LASPADA, C.; ARATA, L.; ALEWELL, C.	2018	Análise de chumbo em amostras retiradas do solo parcialmente coberto de neve.	
^7Be , $^{210}\text{Pb}_{\text{atm}}$ and ^{137}Cs in Snow Deposits in the Arctic Part of Western Siberia (Yamal-Nenets	MEZINA, Kseniya; MELGUNOV, Mikhail; BELYANIN, Dmitriy	2020	Monitoração de berílio e chumbo em amostras coletadas após precipitação	

Autonomous District)			de neve.	
Establishing a sediment budget for a small agricultural catchment in southern Brazil, to support the development of effective sediment management strategies	MINELLA, Jean P.G.; WALLING, Desmond E.; MERTEN, Gustavo H.	2014		Este artigo trabalha o céσιο na agricultura.
A review of atmospheric chemistry observations at mountain sites	OKAMOTO, Sachiko; TANIMOTO, Hiroshi	2016		Este artigo trata sobre partículas orgânicas no ar em altas altitudes.
The application of fallout radionuclides to determine the dominant erosion process in water supply catchments of subtropical South-east Queensland, Australia	OLLEY, Jon; BURTON, Joanne; SMOLDERS, Kate; PANTUS, Francis; PIETSCH, Timothy	2012	Monitoração da atividade do chumbo em amostras sedimentares.	
Analysis of the vertical distribution and size fractionation of natural and artificial radionuclides in soils in the vicinity of hot springs	PADOVANI, S.; MITSIOS, I.; ANAGNOSTAKIS, M.; MOSTACCI, D.	2018	Coletas de amostras de solo para monitoração de alguns nuclídeos, entre eles, o berílio e o chumbo.	
Use of ⁷ Be measurements to estimate rates of soil loss from cultivated land: Testing a new approach applicable to individual storm events occurring during an extended period	PORTO, Paolo; WALLING, Des E.	2014	Amostras decorrentes de uma erosão para a análise de berílio.	
Validating a mass balance accounting approach to using ⁷ Be measurements to estimate event-based erosion rates over an extended period at the catchment scale	PORTO, Paolo; WALLING, Des E.; COGLIANDRO, Vanessa; CALLEGARI, Giovanni	2016	Estudo de berílio e chumbo em amostras sedimentares.	
Mercury Speciation at a Coastal Site in the Northern Gulf of Mexico:	REN, Xinrong; LUKE, Winston; KELLEY, Paul; COHEN, Mark; NGAN, Fong; ARTZ,	2014	O artigo aborda essencialmente um estudo	

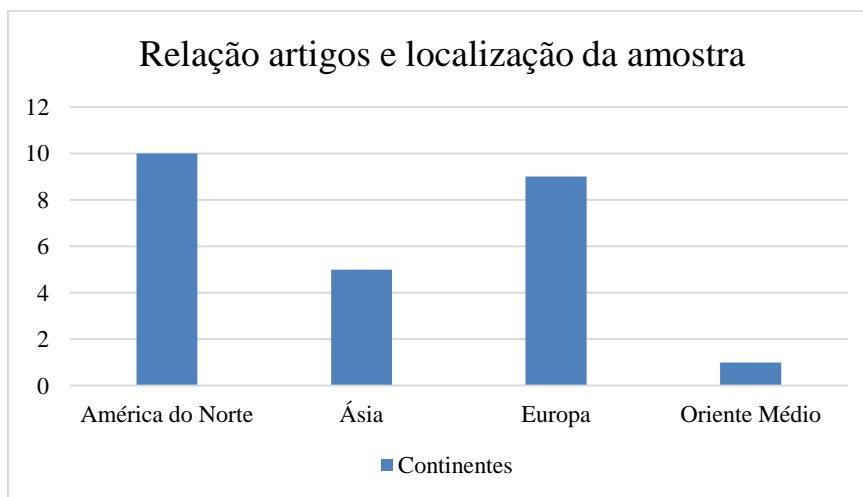
Results from the Grand Bay Intensive Studies in Summer 2010 and Spring 2011	Richard; WALKER, Jake; BROOKS, Steve; MOORE, Christopher; SWARTZENDRUBER, Phil; DIETER, Bauer; REMEIKA, James; HYNES, Anthony; DIBB, Jack; ROLISON, John; KRISHNAMURTHY, Nishanth; LANDING, William; HECOBAN, Arsineh; SHOOK, Jeffery; HUEY, L.		sobre o mercúrio, porém aborda a possibilidade do berílio estar relacionado ao Hg gasoso.	
7Be/210Pbxs Ratio-Derived Age and Residence Time of Suspended Sediments in Galveston Bay	SCHMIDT, Nicole; DELLAPENNA, Timothy; LIN, Peng	2021	Amostras de berílio e chumbo em águas pluviais e marinhas.	
A European-wide 222radon and 222radon progeny comparison study	SCHMITHÜSEN, Dominik; CHAMBERS, Scott; FISCHER, Bernd; GILGE, Stefan; HATAKKA, Juha; KAZAN, Victor; NEUBERT, Rolf; PAATERO, Jussi; RAMONET, Michel; SCHLOSSER, Clemens; SCHMID, Sabine; VERMEULEN, Alex; LEVIN, Ingeborg	2017	Análise da concentração de chumbo em amostras atmosféricas.	
A modified model for estimating soil redistribution on grassland by using 7Be measurements	SHI, Zhonglin; WEN, Anbang; JU, Li; YAN, Dongchun	2012	Simulação da distribuição sedimentar com base na concentração de berílio.	
Discriminating fine sediment sources and the application of sediment tracers in burned catchments: a review	SMITH, Hugh G.; BLAKE, William H.; OWENS, Philip N.	2012	Estudo bibliográfico acerca de radionuclídeos presentes em amostras sedimentares.	
Modelling particle residence times in agricultural river basins using a sediment budget model and fallout radionuclide tracers	SMITH, Hugh G.; BLAKE, William H.; TAYLOR, Alex	2014	Simulação de suspensão sedimentar de chumbo e berílio em sete bacias hidrográficas.	
Threshold Increases in Soil Lead and Mercury from Tropospheric Deposition Across an Elevational Gradient	STANKWITZ, Clare; KASTE, James M.; FRIEDLAND, Andrew J.	2012	Análise da variação de altitude em relação à concentração de chumbo no solo.	
Mangrove-forest evolution in a	SWALES, Andrew; BENTLEY, Samuel J.;	2015	Análise da concentração de	

sediment-rich estuarine system: opportunists or agents of geomorphic change?	LOVELOCK, Catherine E.		berílio e chumbo nas regiões dos manguezais.
Identification of fluvial sediment sources in the Kharaa River catchment, Northern Mongolia	THEURING, Philipp; RODE, Michael; BEHRENS, Stefan; KIRCHNER, Gerald; JHA, Abhinand	2013	Estudo sobre berílio e chumbo presentes na água fluvial e seus papéis como traçadores.
Beryllium-7: The Cinderella of fallout radionuclide sediment tracers?	WALLING, D. E.	2012	Estudo da possibilidade de o berílio ser um radionuclídeo traçador relacionado ao solo e sua redistribuição sedimentar.
Correlations between ⁷ Be, ²¹⁰ Pb, dust and PM10 concentrations in relation to meteorological conditions in northern Poland in 1998–2018	ZALEWSKA, Tamara; BIERNACIK, Dawid; MAROSZ, Michał	2021	Estudo das concentrações de berílio e chumbo em precipitação pluviométrica.
A global dataset of atmospheric ⁷ Be and ²¹⁰ Pb measurements: annual air concentration and depositional flux	ZHANG, Fule; WANG, Jinlong; BASKARAN, Mark; ZHONG, Qiangqiang; WANG, Yali; PAATERO, Jussi; DU, Jinzhou	2021	Estudo bibliográfico das concentrações de chumbo e berílio.

Fonte: autoria própria.

De maneira detalhada, dentre tais 38 resultados finais, a maioria citou os locais nos quais ocorreram a coleta da amostra e apenas quatro regiões pertenciam ao hemisfério sul do globo terrestre, sendo elas: Nova Zelândia, Austrália, Chile e Quênia. As demais áreas foram concentradas acima da linha do Equador, variando entre Oriente Médio e, principalmente, América do Norte, Europa, Ásia, como mostra o Gráfico 1.

Gráfico 1 – Relação entre artigos e a localização da amostra coletada.

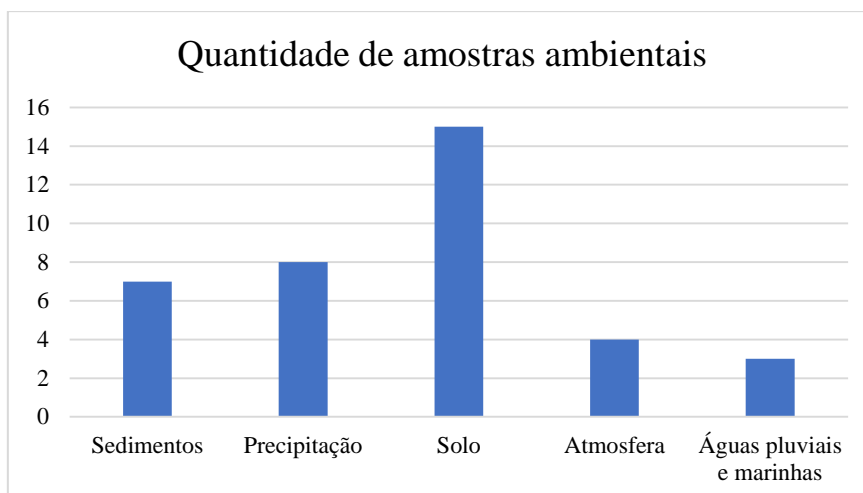


Fonte: autoria própria.

No quesito do período, exclusivamente 4 daqueles que especificam um intervalo de tempo possuem dados englobando o século XX, também há apenas 4 artigos com dados espaçados em uma década ou mais, enquanto o restante que detalha o intervalo no resumo, reduz-se a, no máximo, alguns anos. Quanto ao decorrimento de condições climáticas, houve mínimo detalhamento, resultando em apenas 6 documentos descrevendo a situação de interesse, sendo três deles envolvendo tempestades, dois relacionados diretamente à precipitação e um considerando estações.

Com relação ao tipo de amostra, houve uma predominância na coleta de áreas de solo, enquanto amostras sedimentares e pluviométricas se apresentaram em quantidades próximas; já a minoria dos artigos trabalhou com a concentração do Be-7 e do Pb-210 em amostras atmosféricas ou aquosas, como o Gráfico 2 demonstra.

Gráfico 2 – Relação entre artigos e tipos de amostras ambientais.



Fonte: autoria própria.

Por fim, daqueles artigos que mencionaram os resultados encontrados em seus resumos, ocorreu uma linearidade: o ^7Be possui alta concentração entre a primavera e o verão, enquanto o ^{210}Pb tem maior índice de atividade no inverno.

CONCLUSÃO

Com o estudo bibliográfico realizado com base na análise dos resumos de 38 artigos disponibilizados no site da CAPES, conclui-se que a análise da concentração dos radionuclídeos Be-7 e Pb-210 possui uma quantidade de dados já extensa, entretanto esses resultados estão concentrados no hemisfério norte do planeta Terra (Gráfico 1), uma região que não apresenta diversas semelhanças climáticas com os continentes presentes abaixo da linha do Equador.

Além disto, a análise de amostras do solo prevaleceu, sendo seguida do estudo da concentração em precipitação, sedimentos, atmosfera e águas pluviais e marinhas, respectivamente.

Desta forma, faz-se necessária uma maior inserção deste tema nos continentes africano, sul-americano e oceânico, a fim de observar se, mesmo em climas equatoriais, os radioisótopos em questão apresentariam a mesma predominância: berílio tendo destaque entre primavera e verão e chumbo sobressaindo no inverno.

Paralelamente, a ampliação da variedade de amostras também se apresenta necessária, pois, analisando o Gráfico 2, nota-se pouca pesquisa acerca de amostras atmosféricas, região principal da concentração de berílio-7. Sendo assim, juntamente com o aumento da área global analisada, o crescimento do tipo de amostra deve ser observado.

REFERÊNCIAS

- A ATMOSFERA. Disponível em: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap1/cap1-2.html>. Acesso em: 06 dez. 2022.
- ALANIZ, Alberto J. et al. Linking sedimentological and spatial analysis to assess the impact of the forestry industry on soil loss: The case of Lanalhue Basin, Chile. **Catena**, [S.L.], v. 207, p. 105660, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2021.105660>. Acesso em: 22 fev. 2023.
- ALEWELL, C. et al. Suitability of $^{239+240}\text{Pu}$ and ^{137}Cs as tracers for soil erosion assessment in mountain grasslands. **Chemosphere**, [S.L.], v. 103, p. 274-280, maio 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.12.016>. Acesso em: 22 fev. 2023.
- AL-MUR, Bandar A. et al. Determination of sedimentation, diffusion, and mixing rates in coastal sediments of the eastern Red Sea via natural and anthropogenic fallout radionuclides. **Marine Pollution Bulletin**, v. 122, n. 1-2, p. 456-463, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.05.054>. Acesso em: 22 fev. 2023.
- ATKINS, Peter; JONES, Loretta. Química Nuclear. In: ATKINS, Peter; JONES, Loretta. **Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. Cap. 17. p. 705-729.
- BERNAL, B.; MITSCH, W.. Comparing carbon sequestration in temperate freshwater wetland communities. **Global Change Biology**, [S.L.], v. 18, n. 5, p. 1636-1647, jan. 2012. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02619.x>. Acesso em: 22 fev. 2023.
- CONSTANTINO, Vera Regina Leopoldo. **Elementos Químicos - Radônio**. 2020. Disponível em: https://www.crq4.org.br/tp150_radonio. Acesso em: 06 dez. 2022.
- DAMATTO, Sandra Regina et al. **Preliminary results of ^7Be concentrations in ground level air at São Paulo, Brazil**. 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283491392_Preliminary_results_of_7Be_concentrations_in_ground_level_air_at_Sao_Paulo_Brazil. Acesso em: 22 fev. 2023.
- DERCON, G. et al. Fallout radionuclide-based techniques for assessing the impact of soil conservation measures on erosion control and soil quality: an overview of the main lessons learnt under an FAO/IAEA Coordinated Research Project. **Journal Of Environmental Radioactivity**, [S.L.], v. 107, p. 78-85, maio 2012. Elsevier BV. Acesso em: 23 fev. 2023.
- DU, Juan et al. Temporal variations of atmospheric depositional fluxes of ^7Be and ^{210}Pb over 8 years (2006-2013) at Shanghai, China, and synthesis of global fallout data. **Journal Of Geophysical Research: Atmospheres**, [S.L.], v. 120, n. 9, p. 4323-4339, 5 maio 2015. <http://dx.doi.org/10.1002/2014jd022807>. Acesso em: 22 fev. 2023.
- EPPLE, Lea et al. A Review on the Possibilities and Challenges of Today's Soil and Soil Surface Assessment Techniques in the Context of Process-Based Soil Erosion

Models. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 14, n. 10, p. 2468, 20 maio 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs14102468>. Acesso em: 23 fev. 2023.

FREEMAN, Angelina M.; ROBERTS, Harry H.. Storm Layer Deposition on a Coastal Louisiana Lake Bed. **Journal Of Coastal Research**, [S.L.], v. 29, n. 1, p. 31, 31 ago. 2012. <http://dx.doi.org/10.2112/jcoastres-d-12-00026.1>. Acesso em: 22 fev. 2023.

HADDADCHI, Arman et al. Using LM-OSL of quartz to distinguish sediments derived from surface-soil and channel erosion. **Hydrological Processes**, [S.L.], 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.10646>. Acesso em: 22 fev. 2023.

HANCOCK, Gary J. et al. Use of fallout tracers ⁷Be, ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs to distinguish the form of sub-surface soil erosion delivering sediment to rivers in large catchments. **Hydrological Processes**, [S.L.], v. 28, n. 12, p. 3855-3874, 6 jul. 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.9926>. Acesso em: 23 fev. 2023.

HANSSON, Sophia V. et al. Beryllium-7 as a natural tracer for short-term downwash in peat. **Biogeochemistry**, [S.L.], v. 119, n. 1-3, p. 329-339, mar. 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/s10533-014-9969-y>. Acesso em: 23 fev. 2023.

HUANG, Dekun et al. Particle dynamics of the Changjiang Estuary and adjacent coastal region determined by natural particle-reactive radionuclides (⁷Be,²¹⁰Pb, and²³⁴Th). **Journal Of Geophysical Research: Oceans**, [S.L.], v. 118, n. 4, p. 1736-1748, abr. 2013. <http://dx.doi.org/10.1002/jgrc.20148>. Acesso em: 23 fev. 2023.

JANKOVIC, Marija et al. Temporal concentration changes of beryllium-7 and lead-210 in ground level air in Serbia. **Chemical Industry**, [S.L.], v. 68, n. 1, p. 83-88, 2014. <http://dx.doi.org/10.2298/hemind130320031j>. Acesso em: 23 fev. 2023.

JEANNEAU, Laurent et al. Molecular fingerprinting of particulate organic matter as a new tool for its source apportionment: changes along a headwater drainage in coarse, medium and fine particles as a function of rainfalls. **Biogeosciences**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 973-985, fev. 2018. <http://dx.doi.org/10.5194/bg-15-973-2018>. Acesso em: 22 fev. 2023.

KADKO, David et al. A novel tracer technique to quantify the atmospheric flux of trace elements to remote ocean regions. **Journal Of Geophysical Research: Oceans**, [S.L.], v. 120, n. 2, p. 848-858, fev. 2015. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1002/2014jc010314>. Acesso em: 22 fev. 2023.

KARWAN, D. L. et al. Direct Channel Precipitation and Storm Characteristics Influence Short-Term Fallout Radionuclide Assessment of Sediment Source. **Water Resources Research**, [S.L.], v. 54, n. 7, p. 4579-4594, jul. 2018. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/2017wr021684>. Acesso em: 23 fev. 2023.

KARWAN, D. L. et al. Beryllium-7 wet deposition variation with storm height, synoptic classification, and tree canopy state in the mid-Atlantic USA. **Hydrological Processes**, [S.L.], v. 30, n. 1, p. 75-89, 22 jul. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.10571>. Acesso em: 23 fev. 2023.

KASTE, James M. et al. Brian. Seasonal controls on meteoric ^7Be in coarse-grained river channels. **Hydrological Processes**, [S.L.], v. 28, n. 5, p. 2738-2748, 24 abr. 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.9800>. Acesso em: 22 fev. 2023.

LAMBA, Jasmeet; KARTHIKEYAN, K. G.; THOMPSON, A. M.. Using radiometric fingerprinting and phosphorus to elucidate sediment transport dynamics in an agricultural watershed. **Hydrological Processes**, [S.L.], v. 29, n. 12, p. 2681-2693, 12 dez. 2014. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.10396>. Acesso em: 23 fev. 2023.

LANDIS, Joshua D.; RENSHAW, Carl E.; KASTE, James M.. Beryllium-7 and lead-210 chronometry of modern soil processes: The Linked Radionuclide aCcumulation model, LRC. **Geochimica Et Cosmochimica Acta**, [S.L.], v. 180, p. 109-125, maio 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gca.2016.02.013>. Acesso em: 22 fev. 2023.

LIN, Yu-Chi et al. Stratospheric influence on the concentration and seasonal cycle of lower tropospheric ozone: Observation at Mount Hehuan, Taiwan. **Journal Of Geophysical Research: Atmospheres**, [S.L.], v. 119, n. 6, p. 3527-3536, 27 mar. 2014. <http://dx.doi.org/10.1002/2013jd020736>. Acesso em: 22 fev. 2023.

LOBA, Aleksandra et al. Meteoric ^{10}Be , ^{137}Cs and $^{239+240}\text{Pu}$ as Tracers of Long- and Medium-Term Soil Erosion—A Review. **Minerals**, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 359, 15 mar. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/min12030359>. Acesso em: 22 fev. 2023.

MAINA, Caroline W. et al. Geochronological and spatial distribution of heavy metal contamination in sediment from Lake Naivasha, Kenya. **Journal Of Radiation Research And Applied Sciences**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 37-54, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1080/16878507.2019.1593718>. Acesso em: 23 fev. 2023.

MANIES, K. L. et al. Decadal and long-term boreal soil carbon and nitrogen sequestration rates across a variety of ecosystems. **Biogeosciences**, [S.L.], v. 13, n. 15, p. 4315-4327, ago. 2016. <http://dx.doi.org/10.5194/bg-13-4315-2016>. Acesso em: 23 fev. 2023.

MEUSBURGER, K. et al. Combined use of stable isotopes and fallout radionuclides as soil erosion indicators in a forested mountain site, South Korea. **Biogeosciences**, [S.L.], v. 10, n. 8, p. 5627-5638, 26 ago. 2013. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/bg-10-5627-2013>. Acesso em: 23 fev. 2023.

MEUSBURGER, K. et al. Excess Lead-210 and Plutonium-239+240: Two suitable radiogenic soil erosion tracers for mountain grassland sites. **Environmental Research**, [S.L.], v. 160, p. 195-202, jan. 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2017.09.020>. Acesso em: 22 fev. 2023.

MEZINA, Kseniya et al ^7Be , $^{210}\text{Pb}_{\text{atm}}$ and ^{137}Cs in Snow Deposits in the Arctic Part of Western Siberia (Yamal-Nenets Autonomous District). **Atmosphere**, [S.L.], v. 11, n. 8, p. 825, ago. 2020. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos11080825>. Acesso em: 23 fev. 2023.

MINELLA, Jean P.G. et al. Establishing a sediment budget for a small agricultural catchment in southern Brazil, to support the development of effective sediment management strategies. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 519, p. 2189-2201, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.10.013>. Acesso em: 23 fev. 2023.

OKAMOTO, Sachiko; TANIMOTO, Hiroshi. A review of atmospheric chemistry observations at mountain sites. **Progress In Earth And Planetary Science**, [S.L.], v. 3, n. 1, out. 2016. <http://dx.doi.org/10.1186/s40645-016-0109-2>. Acesso em: 23 fev. 2023.

OLLEY, Jon et al. The application of fallout radionuclides to determine the dominant erosion process in water supply catchments of subtropical South-east Queensland, Australia. **Hydrological Processes**, [S.L.], v. 27, n. 6, p. 885-895, 6 jul. 2012. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.9422>. Acesso em: 22 fev. 2023.

PADOVANI, S. et al. Analysis of the vertical distribution and size fractionation of natural and artificial radionuclides in soils in the vicinity of hot springs. **Radiation Effects And Defects In Solids**, [S.L.], v. 173, n. 9-10, p. 794-806, 3 out. 2018. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10420150.2018.1528605>. Acesso em: 23 fev. 2023.

PAPASTEFANOU, Constantin. **Atmospheric aerosol particles**. In: PAPASTEFANOU, Constantin. **Radioactive aerosols**. Amsterdã: Elsevier, 2008. Cap. 1. p. 3-9. Volume 12 da série Radioactivity in the Environment.

PAPASTEFANOU, Constantin. **Radioactive aerosols**. In: PAPASTEFANOU, Constantin. **Radioactive aerosols**. Amsterdã: Elsevier, 2008. Cap. 2. p. 11-16. Volume 12 da série Radioactivity in the Environment.

PORTO, Paolo; WALLING, Des E.. Use of ⁷Be measurements to estimate rates of soil loss from cultivated land: testing a new approach applicable to individual storm events occurring during an extended period. **Water Resources Research**, [S.L.], v. 50, n. 10, p. 8300-8313, out. 2014. <http://dx.doi.org/10.1002/2014wr015867>. Acesso em: 22 fev. 2023.

PORTO, Paolo et al. Validating a mass balance accounting approach to using ⁷Be measurements to estimate event-based erosion rates over an extended period at the catchment scale. **Water Resources Research**, [S.L.], v. 52, n. 7, p. 5285-5300, jul. 2016. <http://dx.doi.org/10.1002/2015wr018136>. Acesso em: 22 fev. 2023.

REN, Xinrong et al. Mercury Speciation at a Coastal Site in the Northern Gulf of Mexico: Results from the Grand Bay Intensive Studies in Summer 2010 and Spring 2011. **Atmosphere**, [S.L.], v. 5, n. 2, p. 230-251, 29 abr. 2014. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos5020230>. Acesso em: 22 fev. 2023.

SCHMIDT, Nicole et al. ⁷Be/²¹⁰Pb_{xs} Ratio-Derived Age and Residence Time of Suspended Sediments in Galveston Bay. **Frontiers In Marine Science**, [S.L.], v. 8, 20 jul. 2021. <http://dx.doi.org/10.3389/fmars.2021.703945>. Acesso em: 22 fev. 2023.

SCHMITHÜSEN, Dominik et al. A European-wide ²²²Rn and ²²²Rn progeny comparison study. **Atmospheric Measurement Techniques**, [S.L.], v. 10, n. 4, p.

1299-1312, 3 abr. 2017. <http://dx.doi.org/10.5194/amt-10-1299-2017>. Acesso em: 22 fev. 2023.

SHI, Zhonglin et al. A modified model for estimating soil redistribution on grassland by using ⁷Be measurements. **Plant And Soil**, [S.L.], v. 362, n. 1-2, p. 279-286, 22 maio 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-012-1280-x>. Acesso em: 22 fev. 2023.

SMITH, Hugh G. et al. Discriminating fine sediment sources and the application of sediment tracers in burned catchments: a review. **Hydrological Processes**, [S.L.], v. 27, n. 6, p. 943-958, set. 2012. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.9537>. Acesso em: 23 fev. 2023.

SMITH, Hugh G.; BLAKE, William H.; TAYLOR, Alex. Modelling particle residence times in agricultural river basins using a sediment budget model and fallout radionuclide tracers. **Earth Surface Processes And Landforms**, [S.L.], v. 39, n. 14, p. 1944-1959, 20 maio 2014. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.3589>. Acesso em: 22 fev. 2023.

STANKWITZ, Clare et al. Threshold Increases in Soil Lead and Mercury from Tropospheric Deposition Across an Elevational Gradient. **Environmental Science & Technology**, [S.L.], v. 46, n. 15, p. 8061-8068, 16 jul. 2012. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/es204208w>. Acesso em: 22 fev. 2023.

SWALES, Andrew; BENTLEY, Samuel J.; LOVELOCK, Catherine E.. Mangrove-forest evolution in a sediment-rich estuarine system: opportunists or agents of geomorphic change?. **Earth Surface Processes And Landforms**, [S.L.], v. 40, n. 12, p. 1672-1687, 14 jul. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.3759>. Acesso em: 22 fev. 2023.

THEURING, Philipp et al. Identification of fluvial sediment sources in the Kharaa River catchment, Northern Mongolia. **Hydrological Processes**, [S.L.], v. 27, n. 6, p. 845-856, 5 fev. 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.9684>. Acesso em: 22 fev. 2023.

WALLING, D. E.. Beryllium-7: The Cinderella of fallout radionuclide sediment tracers?. **Hydrological Processes**, [S.L.], v. 27, n. 6, p. 830-844, 17 out. 2012. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.9546>. Acesso em: 23 fev. 2023.

ZALEWSKA, Tamara et al. Correlations between ⁷Be, ²¹⁰Pb, Dust and PM10 Concentrations in Relation to Meteorological Conditions in Northern Poland in 1998–2018. **Journal Of Environmental Radioactivity**, [S.L.], v. 228, p. 106526, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106526>. Acesso em: 23 fev. 2023.

ZHANG, F. et al. A global dataset of atmospheric ⁷Be and ²¹⁰Pb measurements: annual air concentration and depositional flux. **Earth System Science Data**, [S.L.], v. 13, n. 6, p. 2963-2994, jun. 2021. <http://dx.doi.org/10.5194/essd-13-2963-2021>. Acesso em: 22 fev. 2023.