

**CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO – UNIBRA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**DIEGO CARLOS DE LUCENA
KATIANE MARIA DE OLIVEIRA
RAFAELA ALVES FRANÇA DA SILVA**

**A UTILIZAÇÃO DE MUSGOS COMO
BIOINDICADORES DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA**

RECIFE 2023

DIEGO CARLOS DE LUCENA
KATIANE MARIA DE OLIVEIRA
RAFAELA ALVES FRANÇA DA SILVA

A UTILIZAÇÃO DE MUSGOS COMO BIOINDICADORES DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Disciplina TCC II do Curso de Bacharelado em
ciências biológicas do Centro Universitário
Brasileiro

- UNIBRA, como parte dos requisitos para
conclusão do curso.

Orientador (a): Prof. Me. Paulo Braga Mascarenhas

Júnior

Ficha catalográfica elaborada pela
bibliotecária: Dayane Apolinário, CRB4- 2338/ O.

L935u Lucena, Diego Carlos de.
A utilização de musgos como bioindicadores de poluição atmosférica/
Diego Carlos de Lucena; Katiane Maria de Oliveira; Rafaela Alves França
da Silva. - Recife: O Autor, 2023.
24 p.

Orientador(a): Me. Paulo Braga Mascarenhas Júnior.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário
Brasileiro – UNIBRA. Bacharelado em Ciências Biológicas, 2023.

Inclui Referências.

1. Briófitas. 2. Fitorremediação. 3. Metais pesados. 4.
Biorremediação. I. Oliveira, Katiane Maria de. II. Silva, Rafaela Alves
França da. III. Centro Universitário Brasileiro. - UNIBRA. IV. Título.

CDU: 573

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, pelas nossas vidas, e por nos permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

Aos nossos pais e familiares que nos incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a nossa ausência enquanto nos dedicamos à realização deste trabalho.

Aos nossos colegas de turma, por compartilharem conosco tantos momentos de descobertas e aprendizado e por todo o companheirismo ao longo deste percurso.

À universidade unibra, essencial no meu processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que nós aprendemos ao longo dos anos do curso.

A todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o nosso processo de aprendizado.

Ao nosso orientador prof. Me. Paulo Braga Mascarenhas Júnior pela dedicação, paciência e atenção ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

A utilização das briófitas como bioindicadores de poluição atmosférica em projetos de monitoramentos de ambientes poluídos em cidades que realizam atividades antrópicas, têm se tornado uma técnica muito eficiente porque esses seres vivos conseguem remover ou reduzir os contaminantes presentes no ar, além de ser um bioindicador de poluição do ar de baixo custo. As briófitas são plantas simples, de pequeno porte, não possuem vasos condutores de seivas e não possuem raízes, nem caules e nem folhas verdadeiras. São encontradas especialmente em lugares sombreados e úmidos e possuem uma enorme distribuição geográfica fazendo parte das vegetações de vários países e biomas do mundo. Na classe das briófitas, os musgos são as espécies mais utilizadas em projetos de monitoramento do ar como bioindicadores de poluição atmosférica porque a sua morfologia não se altera através do tempo, são sensíveis a poluentes como os metais pesados, possuem resposta direta e resistência a ambientes perturbados. Através das pesquisas realizadas de revisões bibliográficas, o presente estudo abrange a eficiência dos musgos como bioindicadores de elementos traços presentes em ambientes poluídos e a capacidade de reter em suas células metais pesados tais como Zn, Co, Cu, Cr, Al, Hg, Pb, Fe e outros metais-traços presentes no ar.

Palavra-chave: briófitas; fitorremediação; metais pesados; biorremediação.

ABSTRACT

The use of bryophytes as bioindicators of atmospheric pollution in monitoring projects for polluted environments in cities that carry out anthropogenic activities has become a very efficient technique because these living beings are able to remove or reduce contaminants present in the air, in addition to being a bioindicator of low-cost air pollution. Bryophytes are simple, small plants, they do not have sap-conducting vessels and they do not have roots, stems or true leaves. They are found especially in shady and humid places and have a huge geographic distribution, being part of the vegetation of several countries and biomes around the world. In the class of bryophytes, mosses are the species most used in air monitoring projects as bioindicators of atmospheric pollution because their morphology does not change over time, they are sensitive to pollutants such as heavy metals, they have a direct response and resistance to environments disturbed. Through research carried out through literature reviews, the present study covers the efficiency of mosses as bioindicators of trace elements present in polluted environments and the ability to retain heavy metals such as Zn, Co, Cu, Cr, Al, Hg, Pb in their cells. , Fe and other trace metals present in the air.

Keyword: bryophytes; phytoremediation; heavy metals; "bioremediation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura básica das briófitas.	12
Figura 2 – Ciclo de vida das briófitas.	13
Mapa 1 – Mapa geográfico das briófitas.	14

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Quantidade e ano de cada artigo pesquisados.....	20
Gráfico 2 – Quantidade de musgos em vários países.....	21
Gráfico 3 – Quantidade dos metais pesados que apareceram com mais frequência nos musgos citados.....	23

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al - Alumínio

As - Arsênio

Ca - Cálcio

Co - Cobalto

Cu – Cobre

Cd – Cádmiio

Cr - Crômio

Fe - Ferro

Hg - Mercurio

K – Potásio

Li - Litio

Mg - Magnésio

Mn – Maganês

Na - Sódio

Ni - Niquel

P – Fósforo

Pb – Chumbo

Ph - Potencial hidrogeniônico de uma solução

S - Enchofre

V - Vanádio

Zn - Zinco

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo geral	12
2.2 Objetivos específicos	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1 Biologia das briófitas.	12
3.2 Distribuição geográfica dos musgos.....	15
3.3 Uso dos musgos como bioindicadores de poluição atmosférica.	18
4 DELINEAMENTO METODOLÓGICO	22
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

A poluição do ar é um problema ambiental gerado através da ação natural e antrópica (Santos et al., 2014). A poluição atmosférica tem ganhado destaque mundialmente porque vem gerando desequilíbrio nos ecossistemas e afetando os seres vivos (Santos et al., 2014). A contaminação por metais pesados tem se tornado um problema ambiental cada vez mais sério, pois prejudica o desenvolvimento dos organismos vivos e desequilibra ambientes físicos e químicos (Rodrigues et al., 2016). Os metais-traços são classificados como uns dos principais contaminantes do meio ambiente e são quase sempre resultantes das atividades antrópicas (Souza et al., 2017). As sucessivas transmissões desses elementos traços na natureza, produz toxicidade aos animais e as plantas (Souza et al., 2018).

Para controlar o desequilíbrio ambiental causado pelo avanço tecnológico em ambientes poluídos por metais pesados, projetos de biorremediação com utilização de plantas considerada fitorremediadora, tem se tornado cada vez mais eficiente como bioindicadores de poluição do ar porque elas são sensíveis à toxicidade e conseguem acumular em seus tecidos, metais de níveis elevados considerados prejudiciais aos organismos vivos presentes nos ambientes aos quais se encontram inseridas (Rodrigues et al., 2016). Plantas que conseguem concentrar altos níveis de metais pesados são chamadas hiperacumuladoras (Rodrigues et al., 2016). Organismos vivos como vegetais e animais são utilizados como bioacumuladores de poluentes presentes no ar, porque conseguem extrair do ambiente quantidades elevadíssimas de metais-traços (Moraes, 2014).

As briófitas são organismos que possuem um porte pequeno, crescem em locais úmidos e de baixa luminosidade (Alquine, 2003). As briófitas são plantas de estrutura morfológica simples, avasculares e não possuem raiz, caule e folhas verdadeiras (Saldanha et al., 2019). Apresentam importantíssimo valor ecológico na biodiversidade porque conseguem sobreviver a locais considerados inabitáveis e tem uma enorme distribuição geográfica, podendo ser encontradas em troncos, rochas, solos e em outros substratos (Saldanha et al., 2019).

Os bioindicadores de poluição atmosférica apresentam sensibilidade a

poluentes alterando a estrutura da comunidade das briófitas, como a frequência, cobertura, diversidade e vitalidade das espécies (Viana, 2010; Martins et al., 2008). Funcionando como dispositivos de baixo custo e alta eficiência para designar se há ou não poluição atmosférica em determinada área, além de poder cobrir áreas extensas (Viana, 2010).

Diante do exposto, o estudo tem como objetivo revisar o uso dos musgos como bioindicadores de metais-traços presentes no ar das grandes cidades, fornecendo informações que contribuirão para a preservação do meio ambiente.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o uso dos musgos mediante aos efeitos da poluição atmosférica como bioindicadores de metais pesados nos recursos naturais provenientes de ações antrópicas oriundas da expansão de áreas urbanas.

2.2 Objetivos específicos

2.2.1. Identificar de que modo a morfologia dos musgos atuam na absorção dos poluentes que causam danos e desequilíbrios nos ecossistemas.

2.2.2. Identificar quais tipos de espécies de musgos são utilizados como bioindicadores de poluição do ar.

2.2.3. Buscar quais são as vantagens da utilização dos musgos para a detecção de metais pesados presentes na atmosfera.

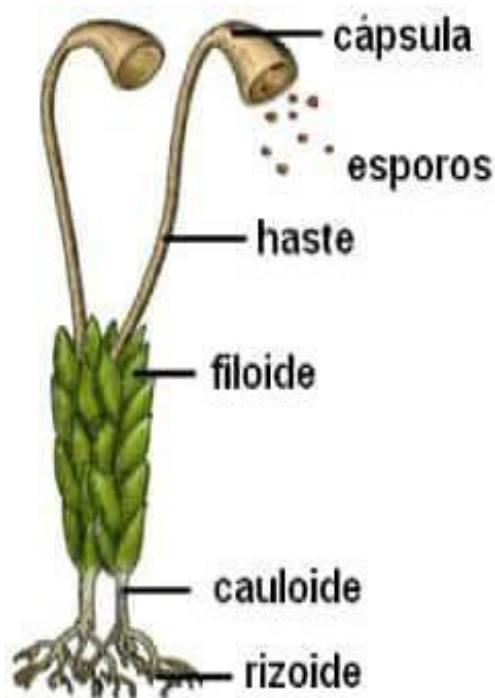
3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Biologia das briófitas

As briófitas possuem três divisões de plantas criptogâmicas terrestres: Marchantiophyta, que correspondem às Hepáticas, Bryophyta aos Musgos e Anthocerotophyta aos Antóceros (Shaw; Goffinet, 2000). Através de estudos foi indicado que as briófitas são parafiléticas, correspondendo a três diferentes

linhagens (Crandall-Stotler, 1986). São plantas terrestres, com tamanho pequeno e ausência de vaso condutores de seiva e lignina (Siviero, 2015). São caracterizadas por serem criptógamas e avasculares, possuem clorofilas a e b, carotenos, xantofilas, amido, gorduras, celulose e hemicelulose (Delgadillo; Cárdenas, 1990). Apresentam anterozóides flagelados, e reprodução do tipo haplodiplobionte, uma vez que a geração gametofítica (haplóide) é independente e dominante, enquanto a esporofítica é efêmera e dependente do gametófito (Glime, 2017).

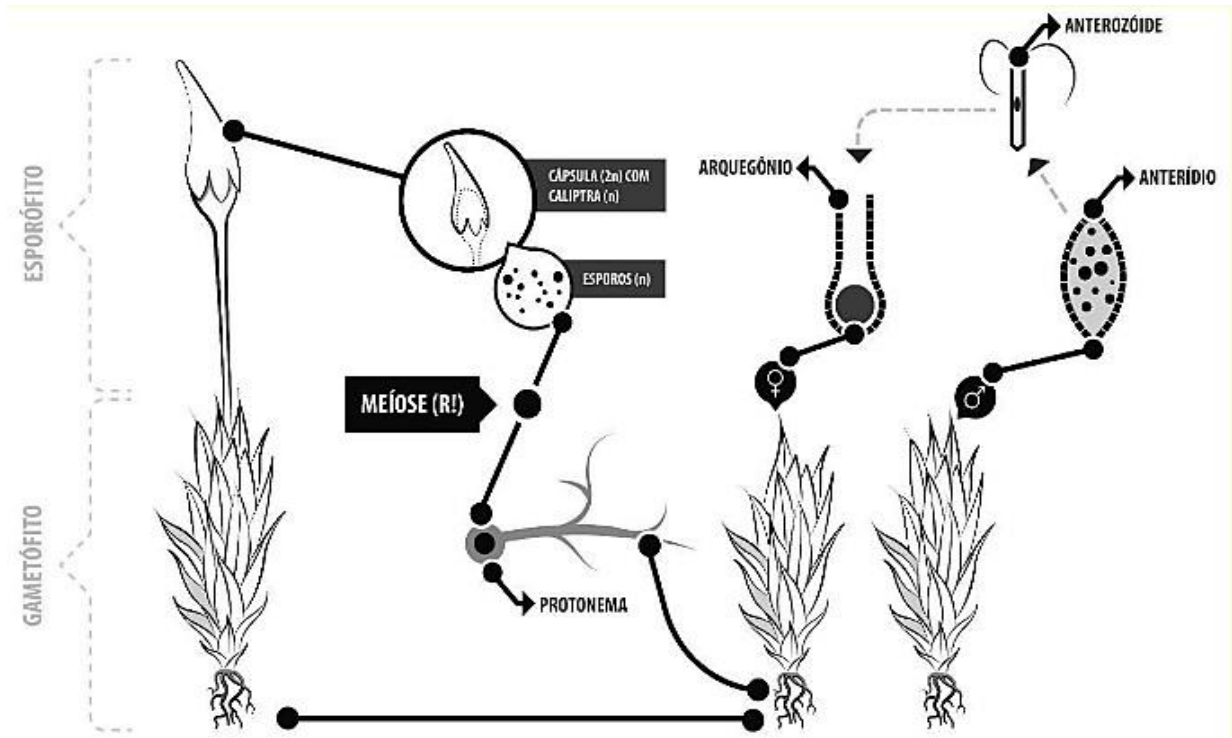
Figura 1. Estrutura básica das briófitas



Fonte: .Beduka; 2020.

Tem um ciclo de vida com alternância de gerações heteromórficas, marcado pela geração gametofítica haplóide (n) que corresponde a fase dominante, enquanto a geração esporofítica diplóide ($2n$) é dependente da primeira e efêmera (Vanderpoorten; Goffinet, 2009).

Figura. 2 Ciclo de vida das briófitas.



Fonte: Santos; Della, 2018.

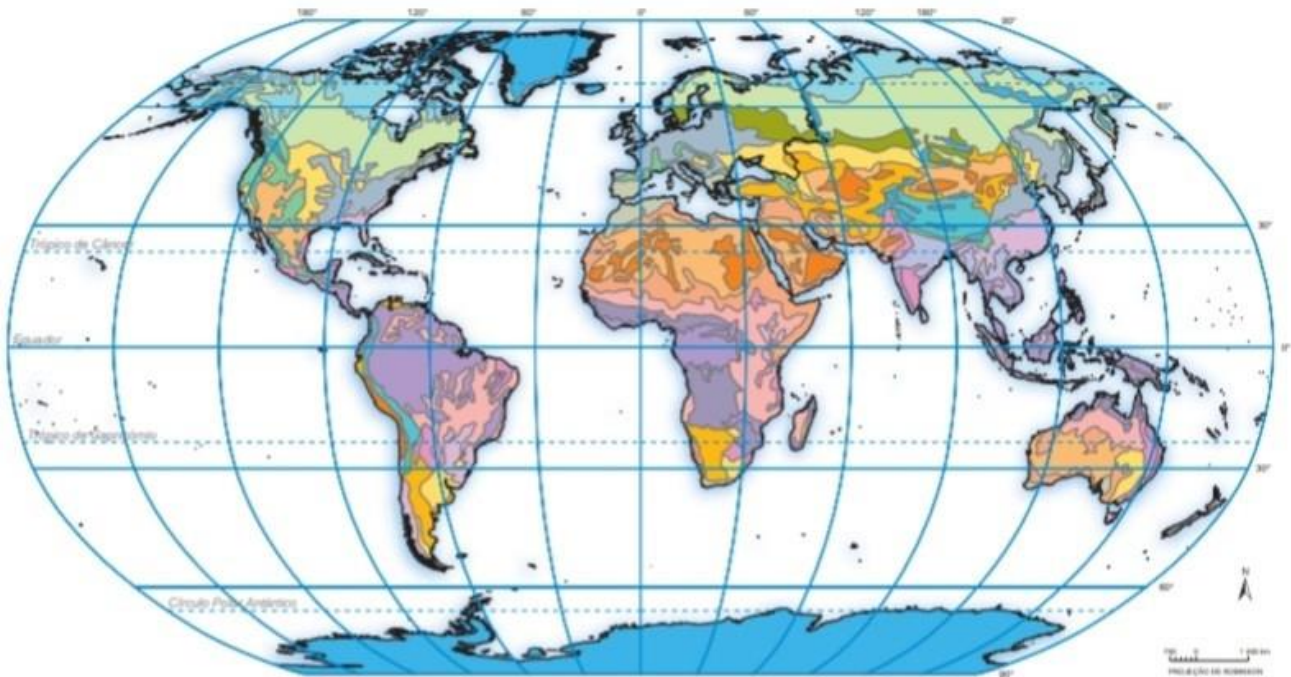
Podem se reproduzir assexuadamente por meio de gemas, propágulos e fragmentos do gametófito (Goffinet, 2000; Schofield, 2001; Bordin, 2009; Vanderpoorten; Goffinet, 2009). São plantas que tem a capacidade de absorver água e nutrientes quase que exclusivamente pela sua superfície, não possuindo a capacidade de filtrar este fluído, como fazem as raízes de uma fanerógama, devido a isto, possuem grande importância ecológica, especialmente como bioindicadores de poluição do ar e da água, contaminação por metais pesados e radioatividade (Oliveira, 2013). São usados na construção de telhados e coberturas verdes e edifícios, um bom exemplo são os jardins verticais (Gabarito et al., 2017). Algumas dessas espécies podem sobreviver em substratos pobres em nutrientes, onde outras plantas não conseguiriam sobreviver. Criam uma proteção orgânica que é tomada por microrganismos, resultando em trocas no mineral inferior (Moura, 2015).

A maioria das briófitas geralmente habitam locais úmidos e sombreados, podendo tolerar condições ambientais extremas e por isso estão amplamente distribuídas no mundo, ocorrendo assim em vários ecossistemas e em uma grande variedade de habitats (Costa; Luizi-Ponzo, 2010). Em locais com fornecimento atmosférico de água e nutrientes, as briófitas podem crescer em qualquer substrato, como troncos de plantas vivas ou em decomposição, superfícies de rochas, muros e calçadas (Frahm, 2003).

A sua preservação é importante, pois o aquecimento global tem provocado prejuízos aos grupos das briófitas em habitats com temperaturas mais elevadas como as florestas boreais, as montanhas tropicais e os biomas com altas temperaturas, modificando as condições e funções dos ecossistemas (He; Hyvönen, 2016). O desaparecimento de habitats e a degradação de ecossistemas são as principais causas do desaparecimento das briófitas no mundo inteiro (Paraense; Goeldi, 2005), e o assolamento das florestas é uma enorme ameaça porque pode causar o extermínio de suas espécies (Pavin, 2001). Apesar de ser o grupo mais antigo do mundo e ter uma importância ecológica imensa, o estudo sobre a sua preservação são baixíssimos e o mais eficiente para fazer é preservar os ambientes em que vivem (Pavin, 2001). Elas possuem uma grande importância nos habitats que estão inseridas pois servem de esconderijos para vários insetos, expansão de sementes de outras plantas (Ilkiu; Tavares; Lisboa, 2004), estocam bastante carbono em comparação com os outros vegetais concedendo mais oxigênio ao meio ambiente, controlam as erosões, enchentes e umidade do ar e são excelentes bioindicadores de poluição do ar (Ribeiro, 2017).

3.2 Distribuição geográfica dos musgos

Figura 3. Mapa geográfico das briófitas



Fonte: Philip's; 2003

Deserto Gelado e Montanhoso ■ Estepe e Tundra de Alto Platô ■ Tundra Ártica ■ Floresta Montanhosa ■ Floresta de Coníferas e decídua temperada ■ Floresta de Coníferas do Norte (Taiga) ■ Floresta Pluvial Tropical ■ Floresta Pluvial Subtropical e Temperada ■ Floresta de Monções ■ Vegetações Tropicais Complexas ■ Savana Africana ■ Savana Tropical e Cerrado ■ Vegetação de Transição da Savana para o Semidesértico ■ Vegetação Arbustiva Desértica ■ Deserto ■ Estepe Desértica e Vegetação Temperada ■ Pradarias e estepes Temperadas.

As briófitas são o segundo maior grupo de plantas terrestres depois das angiospermas (Shaw; Goffinet, 2000). 20.000 espécies são reconhecidas no mundo (The planet list, 2018). Segundo pesquisas supõe-se que há uma diversidade maior desse grupo na região neotropical onde ocorrem aproximadamente 4.000 espécies (Pócs, 1982; Gradstein, 2001).

A primeira checagem da diversidade de briófitas brasileiras foi publicada por ((Costa; Luizi-Ponzo, 2010). Onde conseguiram listar 1.521 espécies pertencentes às três divisões. Anos depois (Costa; Peralta, 2015), realizaram uma nova avaliação dessa diversidade e conseguiram acrescentar mais três espécies (1.524), das quais 11 são antóceros, 633 correspondem as hepáticas e 880 são musgos, distribuídas em

413 gêneros e 117 famílias. As briófitas possuem uma enorme distribuição geográfica, podendo ser avistadas em vários ambientes (Freitas et al., 2018). E apresentam um importantíssimo valor ecológico na biodiversidade porque consegue sobreviver a locais considerados inabitáveis como troncos, rochas, solos em outros substratos (Saldanha et al., 2019). No grupo das briófitas os musgos são as espécies que mais se destacam em relação ao uso de bioindicadores de poluição (Souza et al., 2017). Possuindo ampla distribuição geográfica em vários países (Pavin, 2001).

Na Svalbard com 288 espécies de musgos, Islândia com 426 espécies de musgos, Ártico Alasca que possui 415 espécies de musgos, Austrália com 1064 espécies de musgos, Nova Zelândia com 522 espécies de musgos, Nova Caledônia com 631 de espécies de musgos e na Antártica Continental com 15 espécies de musgos (Mosses, 2000). No Leste e Sudeste Asiático, os musgos possuem uma riquíssima diversidade e pode ser encontrado no Japão com 1.180 espécies de musgos, China com 2000 de musgos, Nova Guiné com 890 espécies de musgos, Coreia do Norte e Sul com 540 espécies de musgos, Filipinas com 700 espécies de musgos, Vietnã com 600 espécies de musgos, Taiwan com 900 de espécies de musgos e Península Malaia com 470 espécies de musgos (Mosses, 2000).

Na África Subsaariana é encontrado 2.849 espécies de musgos, na África tropical com 2.666 de musgos, Continente tropical com 1.970 de espécies de musgos, Ilhas da África Oriental com 1.101 de musgos, África do Sul continental com 538 espécies de musgos, na Tanzânia com cerca de 813 de musgos e o Reino Unido com cerca de 745 espécies de musgos (Mosses, 2000). A América Tropical contém uma flora ricamente diversificada de briófitas ao qual estende-se pelo México Central, Cuba, Sudeste do Brasil até a Bolívia com 2.600 espécies de musgos (Mosses, 2000).. A diversidade de briófitas na América do Norte, estende-se da Flórida para a Groenlândia até o Canadá com aproximadamente 1.325 espécies de musgos (Mosses, 2000). Vários países têm utilizado os musgos como bioindicadores de poluição atmosférica em ambientes perturbados, por conta da sua ótima distribuição geográfica e adaptação a ecossistemas contaminados por altos níveis de metais pesados (SOUZA; NOBREGA; PONTES, 2017).

O Brasil é o país mais abundante em números de briófitas, incluindo os musgos,

os antóceros e as hepáticas com 3125 espécies partilhadas em 450 gêneros e 110 famílias, onde destas, 882 são espécies de musgos (Pavin, 2001). No Brasil a maior predominância com dispersão de briófitas está na Mata Atlântica, pois a sua maior abundância de espécie acontece da Florestas Tropicais Úmidas (Da silva et al., 2004). Pois é um ambiente propício à expansão desse táxon e com mais estudos (Pavin, 2001). Nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná são encontradas 430 espécies de musgos (Mllanez; Yano, 2002). No Pará são registrados em torno de 114 espécies de musgos (Santos; Lisboa, 2008), e no Espírito Santo 226 espécies de musgos (Costa; Silva, 2003).

3.3 Uso dos musgos como bioindicadores de poluição atmosférica

As briófitas podem ser avistadas em vários ambientes e tem desenvolvimento em locais altamente perturbados, visto que são altamente sensíveis à contaminação do meio ambiente (Freitas et al., 2018). Com o avanço das atividades antrópicas as concentrações de metais pesados na atmosfera têm aumentado bastante através das numerosas fontes de poluição, sendo transportado para vegetação e solo por meio de processos de adsorção a gás e o caimento de poeira no ambiente (Souza et al., 2018). Essa contaminação atmosférica está relacionada a vários fatores como queima de combustíveis fósseis, resíduos industriais, incineração de madeira, queimada de lixo, queima de florestas e de pastos, poluindo assim o ar, a água e o solo, causando danos a fauna e à flora (Camilo et al., 2016).

Os metais pesados podem ser gerados através de fenômenos naturais ou de ação antrópica, podendo ser encontrados no ar, no solo e na água (Boa Ventura et al., 2002). Para controlar o desequilíbrio ambiental causado pelo avanço tecnológico em ambientes poluídos, projetos de biorremediação com utilização de plantas considerada fitorremediadora, tem se tornado cada vez mais eficiente como bioindicadores de poluição porque elas são sensíveis à toxicidade e conseguem acumular em seus tecidos, metais de níveis elevados considerados prejudiciais aos organismos vivos presentes nos ambientes aos quais se encontram inseridas (Rodrigues et al., 2016). A biorremediação é um método tecnológico eficaz que utiliza como alternativa organismos vivos capazes de diminuir ou retirar contaminantes presentes no ambiente (Gaylarde; Bellinaso;

Manfio, 2005).

A fitorremediação é um método inovador e eficaz ao qual utiliza plantas em ambientes contaminados para extrair ou deter substâncias prejudiciais (Peixoto et al., 2011). Vários animais e plantas como as formigas, os besouros, as minhocas, os artrópodes, as borboletas, os mamíferos selvagens, as células microbianas, a Plecoptera, as pulga-d'água, as libélulas, os foraminíferos, as macrófitas, os peixes, os anfíbios, os líquens, os fungos, a goiabeira, o feijão, o tabaco, a bromélia e os musgos são exemplos de organismos vivos usados como bioindicadores de contaminantes porque possuem capacidade de indicar o estado de degradação dos ambientes terrestres e são divididos em indicadores de poluição de ambientes terrestres, indicadores de poluição de ambientes aquático e indicadores de poluição do ar (Oliveira, 2017). Os vegetais independentes da sua estatura podem ser utilizados como biomonitores, bioacumuladores e bioindicadores de poluição atmosférica (Souza et al., 2018). Os biomonitores são organismos vivos que possuem resposta direta e resistência aos estresses provocados pela poluição ambiental (Souza et al., 2017). Os bioacumuladores são espécies de plantas e de animais que possuem a capacidade de indicar a existência de partículas tóxicas presentes no ambiente ao qual se encontram inseridas (Moraes, 2014).

As plantas são utilizadas no biomonitoramento da poluição atmosférica, uma vez que esses organismos conseguem absorver poluentes presentes no ar, servindo como bioindicadores de poluição (Santos et al., 2014). São sensíveis às mudanças ambientais e conseguem extrair informações referente a qualidade do ambiente (Camilo et al., 2016). Os vegetais que são sensíveis à toxicidade de contaminação por metais pesados, são utilizados como bioindicadores de poluição, visto que possuem diferentes respostas ao meio poluído e denunciam a presença de elementos químicos com concentrações altamente elevadas no ambiente (Rodrigues et al., 2016).

O biomonitoramento de vegetais usados como bioindicadores de ambientes poluídos tem sido um método muito barato e permite o monitoramento com ampla extensão de determinados lugares com difícil entrada (Camilo et al., 2016). Essa metodologia é uma forma experimental utilizada para avaliação do comportamento de organismos vivos que agem como bioindicadores mediante a poluição na água, no ar ou no solo (Carneiro, 2004). A palavra bioindicador é utilizada para mostrar

o comportamento e respostas biológicas de determinados organismos vivos mediante a consequência de poluentes presentes no ambiente (Prestes; Vincenci, 2019). Os bioindicadores de poluentes atmosféricos podem ser usados de forma ativa que ocorre quando a espécie em estudo é introduzida no ambiente que está sendo monitorado e de forma passiva, quando a espécie já habita o meio que está sendo investigado (Carneiro; Takayanagui, 2009).

Plantas que conseguem concentrar altos níveis de metais pesados são chamadas de hiperacumuladoras e as respostas de tolerância aos metais pesados que causam estresses ao ambiente são observadas quando ela tem a capacidade de suportar e sobreviver no meio contaminado ao qual está inserida (Rodrigues et al., 2016). As briófitas são utilizadas como bioindicadoras de qualidade de ar porque são plantas de poluição hídrica, ou seja, esses organismos não conseguem controlar a sua pressão osmótica (Da silva et al., 2019). Por serem vulneráveis às alterações climáticas, esses táxons são considerados indicadores ambientais de ecossistemas por possuírem respostas direta e rápida a essas mudanças (Della et al., 2022). Não possuem raízes e a absorção de muitos contaminantes oriundo da poluição atmosférica se dá por todo o seu arcabouço (Freitas et al., 2018).

Esse absorvente acontece porque este táxon possui estruturas morfológicas semelhantes a raízes denominadas de rizoide, sendo através dessa estrutura que ocorre a sucção de água e nutrientes do solo (Pavin, 2001). Atuam como bioindicadoras da poluição atmosférica, sendo indicadoras de metais pesados, da qualidade do ar, de ambientes perturbados e de radioatividade (Saldanha et al., 2019). No grupo das briófitas os musgos são as espécies que apresentam maior destaque como bioindicadores porque a sua morfologia não se altera mediante a periodicidade, característica que permite o acúmulo de metais pesados em sua estrutura (Souza et al., 2017). Pertencem ao Filo Bryophyta sendo divididos em três classes: Sphagnidae, Andreaeidae e Bryidae e são dominantes em diversos lugares do mundo (Souza et al., 2017). Os musgos são um exemplo de plantas utilizadas como bioindicadores de contaminantes de metais-traços na atmosfera, devido às suas características fisiológicas e morfológicas. (Souza et al., 2018), alguns deles conseguem reter em sua estrutura altas quantidades de metais pesados como Níquel, Ferro, Zinco, Chumbo e outras substâncias que se encontram na atmosfera (Goulart et al., 2019).

Muitos países utilizam os musgos em pesquisas de monitoramento para saberem o nível de metais pesados presente nas regiões que possuem atividade antrópica como indústrias e estudos revelam que os musgos mesmo estando inseridos em regiões diferentes, a sucção dos metais pesados é contínua e universal para todas as espécies analisadas (Souza et al., 2017). Na Nigéria os musgos *Barbula lambaranensis* tem sido usado para avaliar metais como Ni, Cr, Cd, Zn, Cu e Pb e na China as espécies de musgos *Taxiphyllum taxirameum* e *Eurhynchium eustegium* analisou os efeitos dos metais Cu, Zn, Pb, Cr, Cd e Hg (Souza; Nobrega; Pontes, 2017). Países como Alasca tem avaliado o processo do mercúrio através de espécies de musgos da região. Na Tailândia os musgos nativos conseguem adsorver em sua estrutura as concentrações de Fe, Cu, Cd e Zn.

Na Espanha os musgos *Shagnum sp* são utilizados para reter os metais pesados como Pb, Zn, Cu, Ni e Cd presentes no ar (Souza; Nobrega; Pontes, 2017). Na Polônia, os metais pesados Zn, Fe, Cu, Mg, Co, Ni, Cr e Pb foram encontrados nos musgos *Hylocomium splendens* e *Pleurozium schreberi* (Grodzinska, 1978). Na Itália os musgos *Bryum argenteum* apresentou em sua estrutura a presença os metais-traços Cr, Zn, Mn, Al, Mg, Ni, Cu, Co, Pb, Cd, Ca, Na, P, K, As e Li (Aceto et al., 2003). No Brasil espécies de musgos *E. britton* e *Helicodontium capillare* apresentaram potencial como indicadores dos metais pesados Ni, Cu, Pb, Zn, Cd e Cr presentes na atmosfera (Mazzoni, 2012). No leste da China o musgo *Haplocladium microphyllum* possui capacidade de retenção dos metais-traços Zn, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb e Ni em sua estrutura (Zhou et al., 2022). No território da Albânia a espécie de musgos *Hypnum cupressiforme* foi utilizada para identificar os metais Fe, Zn, As, Pb, Cd, Co, Cr, Cu, Ni e Hg considerado tóxico para ar (Lazo et al., 2022).

Os musgos demonstraram uma enorme capacidade de indicador biológico estando relacionado com a poluição do ar, poluição da água, estado do pH, condição do solo em florestas, existência de Ca, fontanas de S, bancos de minerais como Zn, Pb, Cu e Fe (Camilo et al., 2016). Esses organismos vivos têm sido alvo de pesquisas por vários países na questão de biomonitoramento de metais pesados, pois a sua utilização como bioindicadores de contaminantes se dá por vários motivos, onde pode-se destacar as adaptações aos impactos ambientais, não

possuem tecido verdadeiros, não tem raízes, dispõem capacidade de reter em sua parede celular partículas de íons metálicos, sua estrutura morfológica não é alterada com a mudança do tempo, além de serem eficaz na adsorção de metais pesados (Souza et al., 2017).

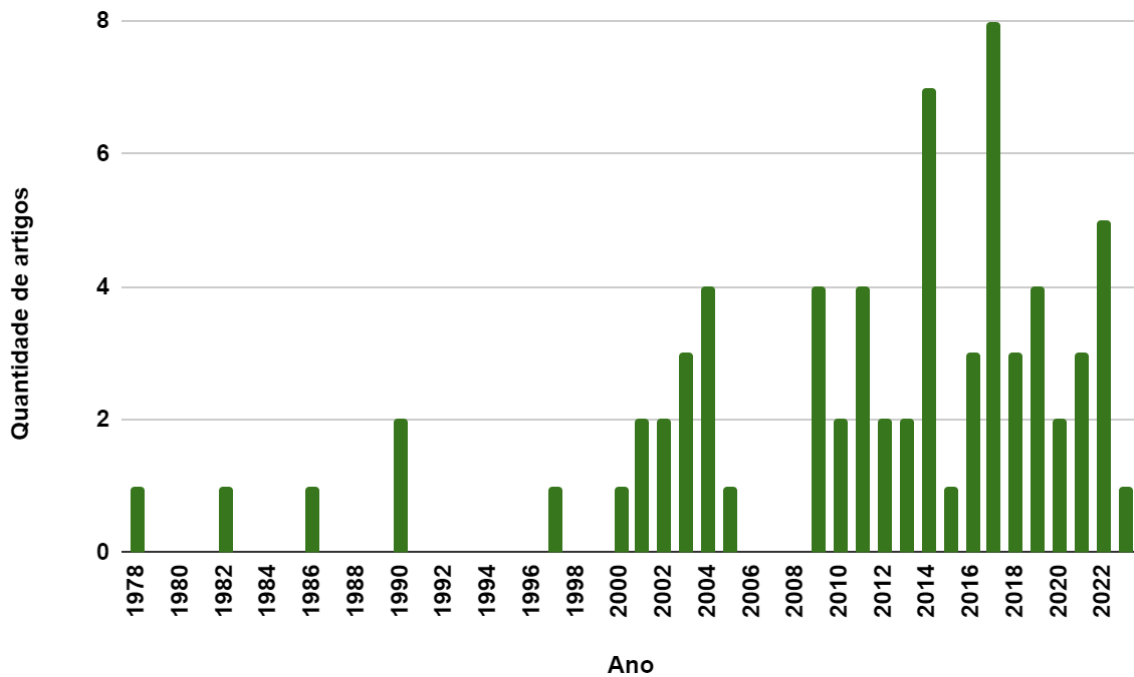
4 DELINEAMENTO METODOLÓGICO

A presente pesquisa teve duração de dez meses e foi escrita através de uma revisão de literatura de manuscritos buscando publicações de artigos científicos, monografias, teses, dissertações, livros e relatórios que reportaram o uso dos musgos como bioindicadores de poluição atmosférica de metais pesados em ambientes perturbados. Para a seleção das literaturas bibliográficas, foram adotados critérios de seleção com foco em escritos que traziam assuntos sobre a poluição do ar, bioindicadores, elementos traços, morfologia das briófitas e distribuição geográfica das briófitas. Manuscritos que não estavam relacionados com os critérios de seleção, foram eliminados. As buscas aconteceram através do Google acadêmico, Scielo, Scopus, Science.gov, Web of Science, com o uso das palavras-chaves: briófitas, biorremediação, biondicadores, biomas, fitorremediação, metais pesados e poluição atmosférica. Utilizamos os operadores booleanos (+) e (.) para combinar as palavras-chaves. A pesquisa envolveu apenas trabalhos escritos em língua portuguesa e inglesa, ficando de fora literaturas bibliográficas em outros idiomas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a realização do atual trabalho de conclusão de curso, foram analisados e estudados 70 artigos bibliográficos publicados entre os anos de 1978 a 2023. A partir do levantamento dos anos de publicação de cada artigo pesquisado, foi possível selecionar quais anos tiveram maior e menor quantidades de artigos bibliográficos, como mostra o Gráfico 1. O ano de 2017 se destacou em primeiro lugar com 8 artigos científicos publicados, seguido do ano de 2014 em segundo lugar com 7 artigos científicos publicados.

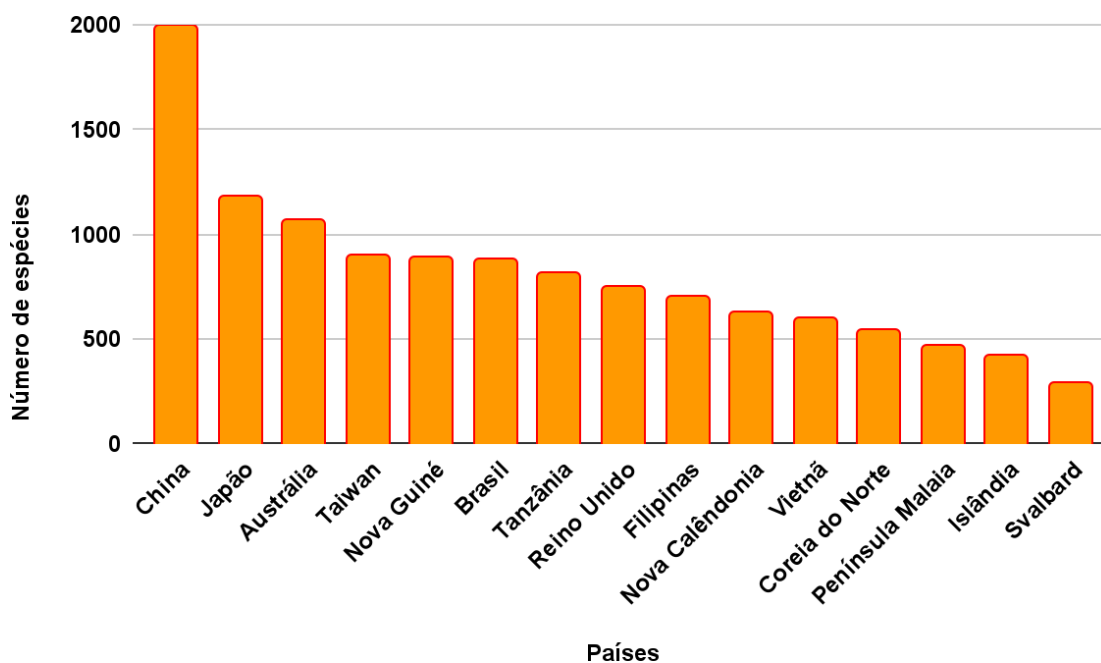
Gráfico 1. Quantidade e ano de cada artigo pesquisado.



Fonte: Os autores, 2023

Através dos artigos pesquisados, foi possível verificar a quantidade de espécies de musgos distribuídos em vários países. A China é o país que se destaca em primeiro lugar com 2000 espécies de musgos, seguido do Japão em segundo lugar com 1180 espécies de musgos e em último lugar está o Svalbard com 288 espécies de musgos, como mostra o Gráfico 2 a seguir.

Gráfico 2. Quantidade de musgos em vários países.



Fonte: Os autores, 2023.

Os musgos são organismos cosmopolitas (Santos, 2014), e estão presente na maioria dos habitats tropicais abrangendo as savanas, as florestas secas, florestas tropicais montanas, florestas tropicais de várzea, tundras, etc, sendo importante nos ambientes tropicais onde servem como reserva de águas (Gradstein; Churchill; Salazar-Allen, 2001).

Podem ser encontrados nas regiões do Ártico, na Antártica e no deserto, lugares considerados ambientes extremos (SILVA, 2021), e são consideradas plantas que possuem dominância em relação às vegetações que habitam os locais considerados vastos (Lewis, 2017). Nos ecossistemas do Tundra possuem uma grande importância, pois contribuem com uma enorme cobertura vegetal (Russel, 1990). No Ártico Tundra o número de plantas incluindo as briófitas são bastante pequenas em relação a habitats mais temperados (Lee, 2020).

As florestas tropicais temperadas e as florestas boreais o solo está coberto pelas briófitas (Delucia, 2003). Os musgos são encontrados em desertos quentes

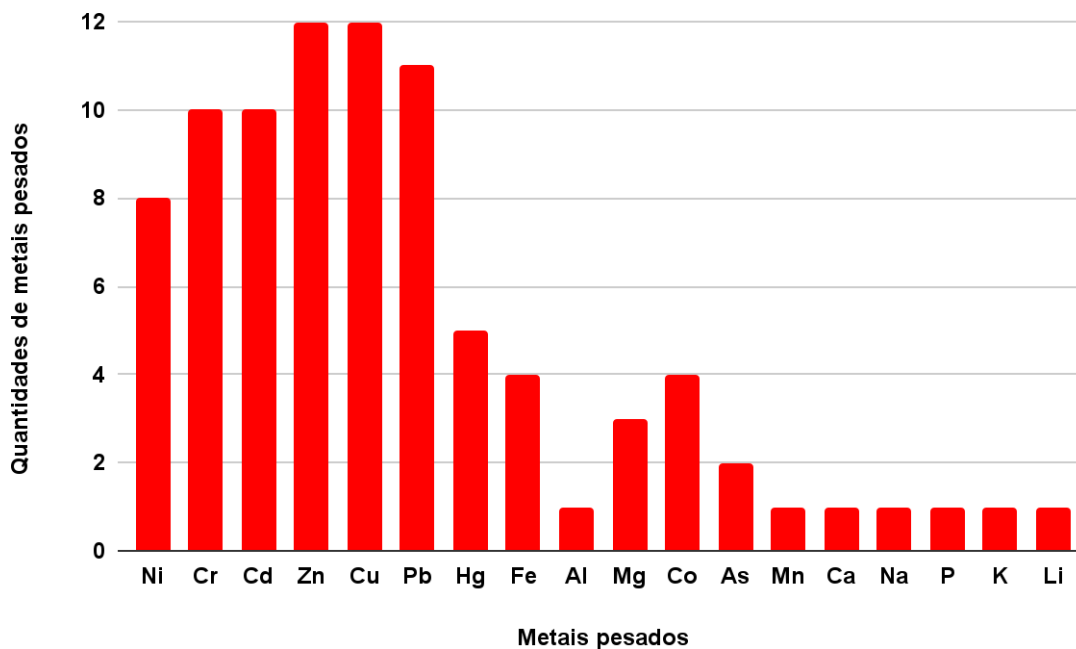
e gelados, conseguindo sobreviver em ambientes secos e frios (Medina;Draper; Lara, 2011). No deserto, principalmente nos ambientes áridos e semiáridos, é normal a presença de musgos e a sua sobrevivência está relacionada a vários fatores, onde na falta de água essas plantas interrompem a fotossíntese e entram em estado de dormência (Zhao et al., 2009).

A Antártida é um lugar de difícil acesso, de extrema sobrevivência e a sua flora é composta pelo domínio dos musgos, espécies que possuem reprodução por esporos (Mundim, 2021). Os musgos são predominantes nas regiões subtropicais e tropicais, pois compõem as principais vegetações com capacidade de sobrevivência a esses locais extremos (Medina, 2014). A maior dominância dos musgos se encontram nos biomas temperados, mas são encontrados em outros vários habitats como boreais, árticos e montanhosos, sendo um elemento valioso para esses ecossistemas (Siwach;.Kaushal; Baishya, 2021).

Os musgos possuem a capacidade de reter em sua estrutura metais de níveis pesados como o Zinco, Ferro, Mercúrio, Cobre, Cromo, Alumínio, Chumbo e outras substâncias presentes no ar que causam danos aos seres vivos e desequilíbrios aos ecossistemas. Métodos tecnológicos que utilizam organismos vivos como as plantas para indicarem a poluição atmosférica, tem se tornado eficaz por trazerem respostas diretas sobre a qualidade do ar em ambientes contaminados pela ação antrópica.

Muitos países têm utilizado os musgos em pesquisas de monitoramento para extrair informações sobre o nível de metais-traço em regiões que possuem atividades antrópicas .Diante dos artigos pesquisados, foi possível verificar quais são os metais pesados encontrados no ar da Nigéria, China, Leste da China, Polônia, Alasca, Tailândia, Espanha, Itália, Brasil e Albânia através dos musgos *Bambula lambaranesis*, *Taxiphyllum taxirameum*, *Shagnum sp*, *Eurhynchium eustegium*, *Shagnum sp*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium shreberi*, *Bryum argentium*, *E. britton*, *Helicodontium capillare*, *Haplocladium microphyllum*, *Hypnum cupressiforme* e musgos nativos aos quais não são identificados no texto. No Gráfico 3 a seguir, o Zinco e o Cobre foram os elementos traços encontrados com mais frequência nos musgos citados acima.

Gráfico 3. Quantidade dos metais pesados que apareceram com mais frequência nos musgos citados.



Fonte: Os autores, 2023.

Os musgos são considerados excelentes bioindicadores de poluição do ar porque não possuem cutículas concretas, característica que promovem a retenção de metais-traços presentes na atmosfera e obtém os seus nutrientes diretamente do solo através da deposição seca e úmida (Poikolainen, 2004). Os musgos são plantas poiquilohídrica e sobrevivem a ambientes em condições de estresse (Siwach;.Kaushal; Baishya, 2021). Estão presentes em todos os continentes e biomas do mundo (Boquete et al., 2017). Os metais pesados Zn, Cr, Cu, Mn, Pb, Ni, Fe e Cd estão presentes em concentrações de altos níveis em vários países dos continentes Asiático, Africano, Europeu, Oceania e Americano, e o grau de propagação dos metais-traços diferem de cidade para cidade, países para países e continente para continente (Roy et al., 2022).

O uso de organismos vivos como indicadores de poluição ambiental atmosférico tem crescido nos últimos anos (Gerdol, 2014). A utilização de musgos como bioindicador de poluição atmosférica para identificar metais pesados presentes no ar tem sido eficiente (Mróz et al., 2018), pois esses organismos são

usados como biomonitores de metais pesados em ecossistemas contaminados (Frontasyeva et al., 2020). Os biomonitores de poluição ambiental são usados como biacumuladores ou bioindicadores de metais-traços (Ojo; Oluseye; Abiola, 2012). Na Tundra as briófitas possuem uma importância ecológica agindo como remediadores na absorção e retenção de metais, fornecendo ecossistemas equilibrados para os vegetais que não conseguem sobreviver a ambientes poluídos (Lamarre; Naeth, 2023). Na tundra baixa e úmida as briófitas são bastante numerosas, pois elas conseguem sobreviver em ambientes extremos com baixas temperaturas e pouquíssimas disponibilidade de recursos de nutrientes (Wojtún et al., 2013).

A Antártida é um ecossistema considerado menos poluído em comparação com os outros continentes, porém o aumento da atividade antrópica existente nesta área, tem causado a poluição do ambiente através da queima de combustível e acúmulo de resíduos (Mróz et al., 2018). Na Antártida os musgos são as plantas dominantes e atuam como bioindicadores de poluição atmosférica concentrando metais pesados como Pb, Cd, Cu, Zn, Hg, Mn, Al e Fe em seus tecidos (Asher, 2014). No continente africano os estudos sobre os musgos ainda são escassos e os registros de diversidade das espécies são apenas de coletas (O'shea, 1997). As briófitas na América do Norte são utilizadas como biomonitores de metais pesados em menor escala (Wilkie, 2011). No ar da savana é registrado a presença dos metais pesados Zn, Cd, Cr e Ba (Nangeelil, 2022).

O uso de musgos como monitores de metais pesados no ar da Ásia é uma técnica pouco utilizada (Nguyen et al., 2010). Na Europa os metais pesados Cd, Cr, Fe, Cu, Al, As, Hg, Zn, Ni, e Pb estão presentes nos musgos de expansão nativo (Frontasyeva et al., 2020). Os ecossistemas árticos são considerados ambientes inalterados com pouca ação humana, porém a poluição atmosférica se dá pelas zonas de latitudes com maior intensidade baixa, onde o foco da ação humana se encontra na América Norte, Sibéria e Europa (Wojtún et al., 2013). Nos ecossistemas árticos os musgos agem como bioindicadores de poluição atmosférica, apresentando maior capacidade de absorver os metais pesados Zn, Fe, Mn, Co, Cu, Cd e Cr (Wojtún et al., 2013).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do estudo e das pesquisas revisadas, conclui-se a eficiência dos musgos como bioindicadores de poluição atmosférica por serem plantas fitorremediadoras capazes de reter e extrair altos níveis de elementos traços em ambientes contaminados. Vários países utilizam essas plantas em pesquisa de monitoramento para saberem quais são os metais pesados presentes no ar em ambientes altamente poluídos pela ação antrópica. Dentre o grupo das briófitas, as espécies dos musgos apresentam maior destaque como bioindicadores de poluição atmosférica porque esses vegetais permanecem com a sua morfologia inalterada mesmo com a mudança do tempo, possuem resposta direta a mudança do tempo, são sensíveis a toxicidades de poluentes, extrair informações do meio ao qual se encontra inserida e conseguem acumular em seus tecidos quantidade elevada de metais pesados.

REFERÊNCIAS

- ACETO, Maurizio et al. **The use of mosses as environmental metal pollution indicators**. *Chemosphere*, v. 50, n. 3, p. 333-342, 2003.
- ASHER, Cameron. **Moss and Lichen as Atmospheric Biomonitors of Anthropogenic Contamination in the Antarctic: A Review**. 2014.
- BOAVENTURA, Rui; CAMPOS, Fernanda; MARTINS, Ramiro. **Musgos aquáticos como bioindicadores da contaminação por metais pesados: aplicação à bacia hidrográfica do Rio Ave**. *Água & Ambiente-Ciência*, p. 1-4, 2002.
- BOQUETE, M. T. et al. **Do mosses exist outside of Europe? A biomonitoring reflection**. *Science of the Total Environment*, v. 593, p. 567-570, 2017.
- BORDIN, Juçara; YANO, Olga. **Briófitas do centro urbano de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil**. *Hoehnea*, v. 36, p. 07-71, 2009.
- CRANDALL-Stotler, B. (1986), **Morphogenesis, developmental anatomy and bryophyte phylogenetics**: contraindications of monophyly, *J. Bryol.* 14: 1–24.
- CAMILO, Giuliana Faillace; DE OLIVEIRA, Jaqueline Alves; DE CARVALHO, Juliana Souza. **MUSGOS COMO BIOINDICADORES DE POLUIÇÃO: CIDADE EMPREENDEDORA X CIDADE CARNEIRO**, 2016.
- CARNEIRO, Regina Maria Alves. **Bioindicadores vegetais de poluição atmosférica: uma contribuição para a saúde da comunidade**. Ribeirão Preto, 2004.
- CARNEIRO, R. M. A., & Takayanagui, A. M. M. (2009). **Estudos sobre bioindicadores vegetais e poluição atmosférica por meio de revisão sistemática da literatura**. *Brazilian Journal of Environmental Sciences (RBCIAMB)*, (13), 26-44.
- COSTA, D. P.; LUIZI-PONZO, A. P. **As briófitas do Brasil**. In: FORZZA R.C. et al. *Catálogos de plantas e fungos do Brasil*. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio, 2010.
- COSTA, D.P. & Peralta, D.F. 2015. **Bryophytes diversity in Brazil**. *Rodriguésia*, 66.
- DA SILVA, Erlon Sabino Gomes et al. **BRIÓFITAS EPÍFILAS COMO**

INDICADORAS DE QUALIDADE AMBIENTAL: UM ESTUDO EM UM FRAGMENTO DE MATA ATLÂNTICA PARAIBANO, 2004.

DELGADILLO M., C. & Cárdenas S., A. 1990. **Manual de Briófitas**. 2a ed. México: Instituto de Biología de la Universidad Autónoma de México.

DELLA, Aline Possamai, et al. **Botânica no inverno**, São Paulo, 18/07/2022 a 05/08/2022, p11, 2022.

DELUCIA, Evan H. et al. The contribution of bryophytes to the carbon exchange for a temperate rainforest. **Global Change Biology**, v. 9, n. 8, p. 1158-1170, 2003.

DE OLIVEIRA, DOUGLAS NEVES; RIOS-RJ, T. R. Ê. S. **LEVANTAMENTO DE BIOINDICADORES DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL**. 2017.

DOS SANTOS, Daniel Ricardo Almeida. **Tardígrados como Bioindicadores da Qualidade do Ar em Meio Urbano**. 2014.

FIALHO, Rodrigo C. **O uso de bioindicadores vegetais no monitoramento e controle da poluição atmosférica** – A importância dos bioindicadores. Informativo técnico publicado pela associação dos engenheiros da CETESB – ASEC e pelo conselho de representante dos funcionários CETESB – CRF, para distribuição interna e limitada aos empregados da SMA/CETESB. v. 2. n. 4. Setembro de 2002.

FRAHM, J. P. **Manual of Tropical Bryology**. Tropical Bryology, v.23, p.1-195, 2003.

FREITAS, Jucieli Firmino, et al. **O ensino-aprendizagem de briófitas em uma escola pública do município de Porto Velho-RO**. 2018.

FRONTASYEVA, Marina et al. **Mosses as biomonitors of air pollution: 2015/2016 survey on heavy metals, nitrogen and POPs in Europe and beyond**. 2020. Tese de Doutorado. PatriNat (OFB-CNRS-MNHN).

GABARITO, D.; MONTERO, E. A.; VALLEJO, R.; GABARITO, J. **Envolvente verdes de edifícios com briófitas**. Uma revisão del estado actual de la cuestión. Boletín de la Sociedad Española de Briología, v.48-49, p.1-16, 2017.

GAYLARDE, Christine Claire; BELLINASSO, Maria de Lourdes; MANFIO, Gilson Paulo. Biorremediação. **Biociência & Desenvolvimento**, v. 34, p. 36-43, 200, 2022.

GERDOL, Renato et al. Monitoring temporal trends of air pollution in an urban area using mosses and lichens as biomonitors. **Chemosphere**, v. 108, p.

388-395, 2014.

GLIME, J. M. Capítulo 1 – **Introdução**. In: **Bryophyte Ecology Ebook**. Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. v.1, 2017. Disponível em: Acesso em: 18 de Fev/ 2019.

GOULART, Sara Navarrete Bohi, et al. *Physcomitrium acutifolium* broth.(Funariaceae): **proposição de um novo modelo experimental para estudos de entre os musgos em condições de laboratório**. 2019.

GRADSTEIN, S.R.; Churchill, S.P. & Salazar-Allen, N. 2001. **Guide to the Bryophytes of Tropical America**. Memoirs of The New York Botanical Garden 86: 1-577.

GRODZIŃVSKA, Krystyna. Mosses as bioindicators of heavy metal pollution in Polish national parks. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 9, p. 83-97, 1978.

GUARIEIRO, L.N.; Vasconcellos, P.C.; Solci, M.C. 2011. **Poluentes Atmosféricos Provenientes da Queima de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis: Uma Breve Revisão**. Revista Virtual de Química 3 (5): 434-445.

Guide to the bryophytes of tropical America. **Memoirs-New York Botanical Garden**, 2001.

HE, Xiaolan; HE, Kate S.; HYVÖNEN, Jaakko. Will bryophytes survive in a warming world?. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 19, p. 49-60, 2016.

ILKIU-BORGES, Anna Luiza; TAVARES, Ana Cláudia Caldeira; LISBOA, Regina Célia Lobato. Briófitas da Ilha de Germoplasma, reservatório de Tucuruí, Pará, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.18, p. 689-692, 2004.

LAMARRE, Jasmine JM; DHAR, Amalesh; NAETH, M. Anne. Arctic ecosystem restoration with native tundra bryophytes. **Arctic, Antarctic, and Alpine Research**,

v. 55, n. 1, p. 2209394, 2023.

LEE, Yoo Kyung; LEE, Yoo Kyung. Arctic Plants in Different Tundras. **Arctic Plants of Svalbard: What We Learn From the Green in the Treeless White World**,

p. 27-38, 2020.

LAZO, Pranvera et al. Air quality assessment by moss biomonitoring and trace metals atmospheric deposition. **Aerosol and Air Quality Research**, v. 22, n. 5, p. 220008, 2022.

LEWIS, Lily R. et al. **Future directions and priorities for Arctic bryophyte research ARCTIC SCIENCE**, v. 3, n. 3, p. 475-497, 2017.

MAZZONI, Aline Correa et al. Mosses as indicators of atmospheric metal deposition in an industrial area of southern Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, p. 553-558, 2012.

MEDINA, Nagore G.; DRAPER, Isabel; LARA, Francisco. Biogeography of mosses and allies: does size matter. **Biogeography of microscopic organisms. Is everything small everywhere**, p. 209-233, 2011.

MEDINA, Rayssa Garay. Diversidade Morfológica e Genética em diferentes espécies de musgos da Ilha Nelson (Antártica). 2014.

Mosses, liverworts, and hornworts: status survey and conservation action plan for bryophytes. Gland, Switzerland: IUCN in collaboration with the Swedish Threatened Species Unit, 2000.

MORAES, Vanessa Marques de Oliveira. **Avaliação do potencial mutagênico e bioacumulador de metais pesados de Baccharis trimera Less e Equisetum hyemale L.** 2014.

MRÓZ, Tomasz et al. Determination of element composition and extraterrestrial material occurrence in moss and lichen samples from King George Island (Antarctica) using reactor neutron activation analysis and SEM microscopy.

Environmental Science and Pollution Research, v. 25, p. 436-446, 2018.

MUNDIM, Júlia Viegas. Brioflora Antártica: **novidades para o gênero Syntrichia Brid.(Pottiaceae-Bryophyta) e para a ilha Snow. 2021.**

NANGEELIL, Krishnakumar et al. Biomarker response of Spanish moss to heavy metal air pollution in the low country of the Savannah River basin. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 331, n. 12, p. 5185-5191, 2022.

NGUYEN VIET, Hung et al. Atmospheric heavy metal deposition in Northern Vietnam: Hanoi and Thainguyen case study using the moss biomonitoring technique, INAA and AAS. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 17, p. 1045-1052, 2010.

OJO, Fatoba Paul; OLUSEYE, Ogunkunle Clement; ABIOLA, Okewole Grace. Mosses as biomonitors of heavy metal deposition in the atmosphere.

International Journal of Environmental Sciences, v. 1, n. 2, p. 56-62, 2012.

OLIVEIRA, L. D.; Silva, M. D. Junior, A. N. **Uso de imagens como recurso pedagógico: Um relato de experiência na Escola Estadual Dora Matarazzo**. In: VIII CONGRESSO DE EXTENSÃO DA UFLA. Lavras: UFLA, 2013. p. 1- 6.

O'SHEA, Brian J. The mosses of sub-Saharan-Africa 2. Endemism and biodiversity.

Tropical bryology, p. 75-86, 1997.

PARAENSE, R. C. L. L. M., & GOELDI, E. **Principais ameaças às Briófitas da Região Amazônica brasileira e estudos de casos**. 2005.

PAVIN, M. E. (2001). **Briófitas**: diversidade e importância.

PEIXOTO, Edilene Aparecida et al. **Avaliação do potencial da espécie Vetiveria Zizanioides na fitorremediação de metais-traços presentes em ambientes aquáticos**. 2011.

PÓCS, T. 1982. **Tropical forest bryophytes**. Pp. 59-104. In: A.J.E. Smith (ed.). *Bryophyte Ecology*. London.

POIKOLAINEN, J. et al. Atmospheric heavy metal deposition in Finland during 1985–2000 using mosses as bioindicators. **Science of the Total Environment**, v. 318, n. 1-3, p. 171-185, 2004.

PRESTES, Rosi Maria; VINCENCI, Kelin Luiza. Bioindicadores como avaliação de impacto ambiental/Bioindicators as environmental impact assessment. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 2, n. 4, p. 1473-1493, 2019.

RIBEIRO, Larissa Miranda et al. **Briófitas como bioindicadores da qualidade do ar no Parque Nacional Serra dos Órgãos**, Teresópolis, RJ, Brasil. 6º Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade. Rio de Janeiro, p. 20-23. 2017.

RODRIGUES, A. C. D., et al. 2016. **Mecanismos de respostas das plantas à**

poluição por metais pesados: Possibilidade de uso de macrófitas para remediação de ambientes aquáticos. Contaminados. Revista Virtual de Química, v. 8, n. 1, p. 262-276.

ROY, Sayantee et al. A global perspective of the current state of heavy metal contamination in road dust. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-22, 2022.

RUSSELL, SHAUN. Bryophyte production and decomposition in tundra ecosystems. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 104, n. 1-3, p. 3-22, 1990.

SALDANHA, L. S., et al. 2019. **Aspectos socioambientais e o levantamento etnobotânico da brioflora em Humaitá - AM, Brasil**

SANTOS, R. S., et al. 2014. Análise **multielementar em folhas de Nerium oleander L. usando fluorescência de raios X por dispersão em energia.**

SILVA, Bárbara Guedes Costa. **Revisitando a Flora de Bryophyta da Baía do Almirantado, Antártica. 2021.**

SIWACH, Anshu; KAUSHAL, Siddhartha; BAISHYA, Ratul. Effect of Mosses on physical and chemical properties of soil in temperate forests of Garhwal Himalayas. **Journal of Tropical Ecology**, v. 37, n. 3, p. 126-135, 2021

SOUZA, Ana Kely Rufino et al. Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 9, n. 3, p. 95-106, 2018.

SOUZA, Vitor Ferreira; DOS SANTOS NOBREGA, Michele Aparecida; DA SILVA PONTES, Montcharles. **Musgos como bioindicadores de metais pesados no ambiente.** ActaBiomédica Brasiliensia, v. 8, n. 2, p. 13-22, 2017

Cambridge: Cambridge University Press. SOUZA, Vitor Ferreira; DOS SANTOS NOBREGA, Michele Aparecida; DA SILVA PONTES, Montcharles. **Musgos como bioindicadores de metais pesados no ambiente.** ActaBiomédica Brasiliensia, v. 8, n. 2, p. 13-22, 2017.

VANDERPOORTEN, A. & Goffinet, B. 2009. **Introduction to bryology.** New York: Cambridge University Press, 1-329.

ZHAO, Jiancheng et al. Progress in the study of algae and mosses in biological soil

crusts. **Frontiers of Biology in China**, v. 4, p. 143-150, 2009.

ZHOU, Xiaoli et al. Using moss to assess airborne heavy metal pollution in Taizhou, China. **International journal of environmental research and public health**, v. 14, n. 4, p. 430, 2017.

WILKIE, David; LA FARGE, Catherine. Bryophytes as heavy metal biomonitors in the Canadian High Arctic. **Arctic, Antarctic, and Alpine Research**, v. 43, n. 2, p. 289-300, 2011.

WOJTUŃ, Bronislaw et al. Metals in some dominant vascular plants, mosses, lichens, algae, and the biological soil crust in various types of terrestrial tundra, SW Spitsbergen, Norway. **Polar Biology**, v. 36, p. 1799-1809, 2013.