



A PESQUISA SOBRE OS SOLOS ANTÁRTICOS: ATORES, TEMÁTICAS E PAISAGENS

Ícaro Souza Vieira ¹
Fábio Soares de Oliveira ²
Roberto Ferreira Machado Michel ³

RESUMO

Esta pesquisa cientométrica analisou 553 publicações cobrindo o período de 1958 a 2021 a fim de identificar os principais países, temas e locais de estudo dos solos antárticos, reconhecidos como indicadores confiáveis das mudanças climáticas no continente branco. Os dados foram obtidos das bases Web of Science e Scopus e analisados através de redes de coautoria, palavras-chave e mapas temáticos. A análise revelou altas produtividade, internacionalização, colaboração e citação no campo, com EUA, Nova Zelândia, Brasil, Espanha e Rússia liderando. As pesquisas focaram nas domínios das geociências, biologia e relações humano-ambiente, abordando principalmente temas como geoquímica, monitoramento do permafrost, biorremediação, bioprospecção e biologia molecular. A Península Antártica e os Vales Secos das Montanhas Transantárticas foram as regiões mais estudadas.

Palavras-chave: Antártica, Solo, Cienciometria, Cienciometria Espacial.

ABSTRACT

This scientometric research analyzed 553 publications covering the period from 1958 to 2021 in order to identify the main countries, themes, and study sites of Antarctic soils, recognized as reliable indicators of climate change on the white continent. The data were obtained from the Web of Science and Scopus databases and analyzed through co-authorship networks, keywords, and thematic maps. The analysis revealed high productivity, internationalization, collaboration, and citation in the field, with the USA, New Zealand, Brazil, Spain, and Russia leading. The research focused on the domains of geosciences, biology, and human-environment relations, mainly addressing topics such as geochemistry, permafrost monitoring, bioremediation, bioprospecting, and molecular biology. The Antarctic Peninsula and the Dry Valleys of the Transantarctic Mountains were the most studied regions.

Keywords: Antarctica, Soil, Scientometrics, Spatial Scientometrics.

INTRODUÇÃO

O extremo sul do planeta Terra compreende a Antártica (continente e ilhas) e o Oceano Austral regidos política e juridicamente pelo Sistema dos Tratados da Antártica (STA) que estabelece a atividade científica como a forma predominante de ocupação da área. Sabe-se que a região tem papel central na regulação das condições ambientais, principalmente de ordem climática, do planeta e principalmente da América do Sul (GOLDEMBERG et al., 2011).

¹ Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG, icarosvieira@hotmail.com;

² Doutor em Ciências Naturais pela Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, fabiosolos@gmail.com.

³ Doutor em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa – UFV, rfmmichel@uesc.br.

O monitoramento de solos de regiões polares e alpinas fornecem indicadores importantes e confiáveis das mudanças ambientais globais (SHUR; JORGENSON, 2007; JORGENSON et al., 2010; SCHUUR et al., 2015). Na Antártica, há registros de aumento de até 3,4 °C na temperatura média mensal próximo da superfície nos últimos 50 anos na Península Antártica causando o avanço da área livre de gelo e tornando a região um dos principais *hotspots* globais de aquecimento (VAUGHAN et al., 2003; TURNER et al., 2005).

No entanto, a Ciência do Solo, tradicionalmente aliada à produção de alimentos e, portanto, construída principalmente sob a perspectiva do agricultor, deixou os solos das regiões polares e de alta montanha (com baixo potencial agrícola) em segundo plano. Esses foram os últimos a receber atenção científica séria (BOCKHEIM, 2015a). Os principais sistemas internacionais de classificação pedológica incluíram esses solos apenas a partir dos anos 90 quando as classes dos Gelissolos (*Soil Taxonomy* - ST – 1999) e dos Criosolos (Base de Referência Mundial para Recursos de Solos - WRB – 2006) foram oficializadas.

Caracterizados pela criogenia, tais solos têm sua formação e dinâmica completamente influenciadas por ciclos de congelamento e descongelamento e, desse modo, são frequentemente afetados pelo *permafrost*⁴. Na Antártica, os solos são estudados nas áreas livres de gelo, isto é, onde é possível ocorrer a pedogênese. É possível agrupá-las em diferentes regiões ao longo do continente (Figura 1).

Com base no cenário apresentado, este estudo empregou processos metodológicos característicos da Cienciometria com o fim de identificar os principais países que realizam pesquisas sobre os solos antárticos, analisar sua produção, temáticas e os aspectos espaciais⁵ de sua produção científica.

As técnicas e métodos cienciométricos podem ser utilizados para entender a evolução e identificar tendências da produção científica. Também é possível avaliar o desempenho e a influência de países, regiões, pesquisadores e instituições na atividade científica (HAUNSCHILD; BORNMANN; MARX, 2016).

Estudos dessa natureza abordando temas relacionados ao solo ainda são escassos na literatura e destacando-se os estudos de Lima, *et al.* (2013) e o de Oliveira Filho (2020) sobre

⁴ O conceito de *permafrost* é um conceito físico e não se refere a uma classe ou horizonte de solo. É definido como “material terrestre que permanece continuamente a ou abaixo de 0°C por pelo menos dois anos consecutivos”. Assim, a camada de sedimento, solo ou rocha que se encaixe nestes parâmetros geofísicos pode ser chamada de *permafrost* (BOCKHEIM, 2015).

⁵ A abordagem que utiliza informações de localização nas análises cienciométricas pertence ao subcampo da Cienciometria Espacial. Este subcampo se concentra na análise espacial da produção científica, permitindo a visualização de padrões e tendências de pesquisa em um contexto geográfico. Isso pode revelar clusters de pesquisa, colaborações transnacionais e a influência geográfica na direção da Ciência (FRENKEN; HARDEMAN; HOEKMAN, 2009).



a pedologia brasileira e os de Minasny, *et al.* (2010) e Hartemink (2019) sobre o estudo dos solos numa escala global.

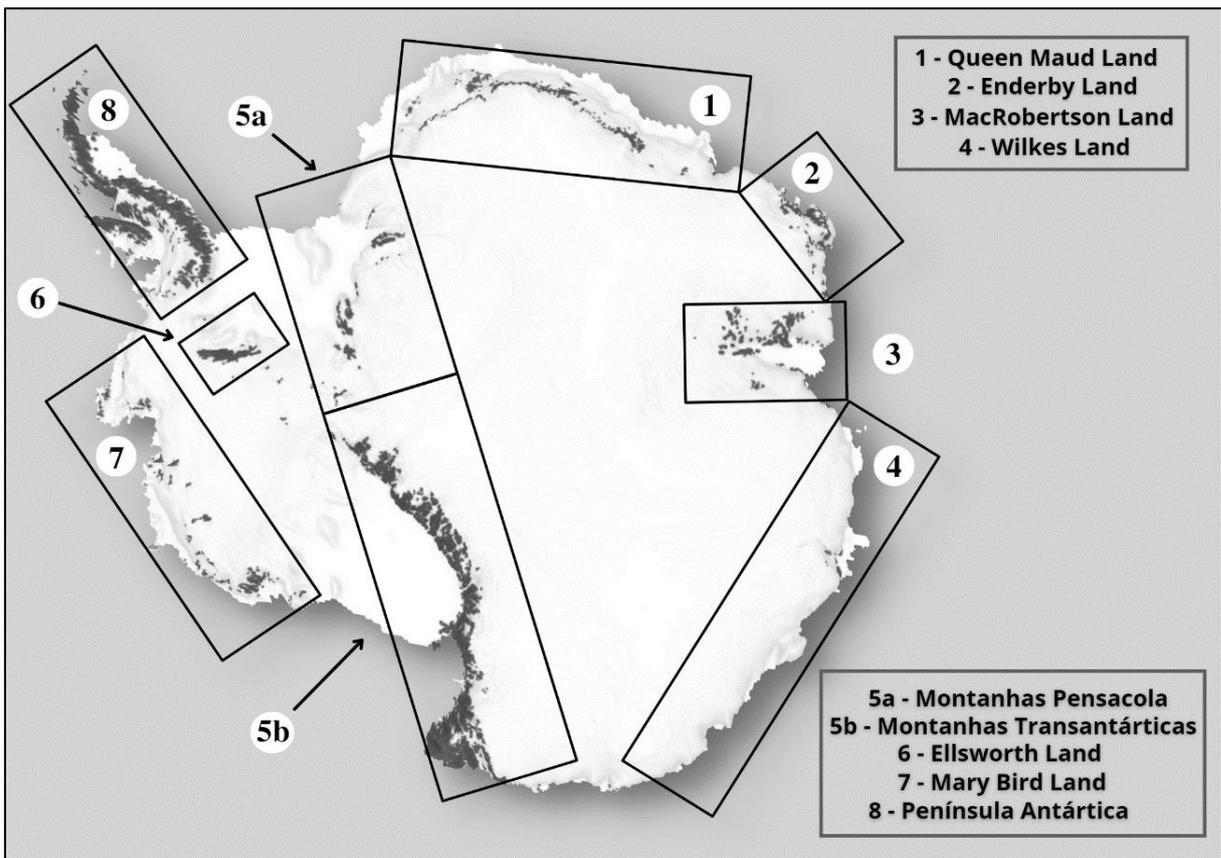


Figura 1 – Regiões livres de gelo da Antártica
Fonte: Elaborado pelo autor baseado em Bockheim, 2015.

No presente estudo, os dados foram analisados a partir de redes de coautoria e palavras-chave além de mapas temáticos. Isso possibilitou uma análise não apenas estatística, mas também conceitual e geográfica da pedologia antártica.

METODOLOGIA

Nesta pesquisa a abordagem metodológico-analítica adotada é próxima ao *Science Mapping* na qual se cria uma representação visual da estrutura do campo de pesquisa dividindo elementos (documentos, autores, países, periódicos, palavras) em diferentes grupos. O *Science Mapping* tem um foco macro e visa encontrar padrões na literatura vista enquanto corpo de trabalho (COBO et al., 2011; ZUPIC; ČATER, 2015).

Para a recuperação dos dados foram utilizadas as bases de dados *Web of Science (WOS)* e *Scopus*. Juntas elas abrangem amplo conjunto de dados bibliográficos científicos internacionais e nacionais. Para tanto, foi necessário sintetizar o assunto pesquisado em termos-



chave. A ideia é construir uma estrutura de busca com a maior capacidade alcance e precisão no retorno dos dados desejados.

Assim, foram compostos dois conjuntos de termos-chave que se articulam para formar as principais ideias/termos abordados pela temática. Para a seleção das palavras-chave consultou-se os livros “*The soils of Antarctica*” e “*Cryopedology*” ambos respectivamente de organização e autoria de James Bockheim. Os conjuntos de palavras foram denominados “Termos Principais” e “Termos Temáticos”, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Conjuntos de palavras-chave utilizadas na recuperação dos dados

Termos Principais	Termos Temáticos	
Antártica Antártico	Solo Criossolo Gelissolo Pedologia Criogênico	Permafrost Camada Ativa Pedogeomorfologia Paisagem Pedológica

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os termos constituíram o seguinte código de busca: (TITLE ((soil* OR pedology* OR pedogeomorphology* OR cryosol* OR gelisol* OR soilscape* OR "active-layer" OR permafrost OR cryogenic*) AND antarctica*) OR AUTHKEY ((soil* OR pedology* OR pedogeomorphology* OR cryosol* OR gelisol* OR soilscape* OR "active-layer" OR permafrost OR cryogenic*) AND antarctica*)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE,"ch")).

A busca dos termos foi restrita aos campos título e palavras-chaves uma vez que os termos colocados nessas sessões são os assuntos principais dos trabalhos. Analisou-se publicações (Artigos e Capítulos de Livro) sobre solos cujas pesquisas tiveram como área de estudo a Antártica, aqui definida pela área de jurisdição do Sistema do Tratado da Antártica (STA), isto é, nas latitudes maiores que 60° Sul (Art. VI do Tratado da Antártica).

Os dados foram extraídos em fevereiro de 2022. Os parâmetros de busca retornaram 721 registros na base Scopus e 641 na WOS. Após a retirada de duplicadas e limpeza dos dados, 553 publicações restaram cobrindo o período de 1958-2021. Em seguida, classificou-se as publicações de acordo com os países de filiação dos autores, construiu-se a rede de coautoria entre países e de palavras-chave. Os dados foram tratados em softwares de planilhas, de informação geográfica e bibliométrico (*VOSviewer* 1.6.18-2022).

No que se refere ao processo de extrações das localizações, é importante esclarecer: Quando houveram coordenadas e/ou mapas nas publicações, todos os pontos registrados foram extraídos. Quando houve apenas a indicação textual da área, elemento fisiográfico ou região,



apenas um ponto de indicação (colocado na área central da localidade) foi conferido à publicação. Desse modo, não foram conferidas coordenadas quando não houve identificação da localidade do estudo ou quando não foi possível acessar a publicação ou seu resumo.

Após, foi construída uma tabela com as coordenadas, ano de publicação, título do trabalho, países de afiliação dos autores e assunto. Os assuntos tiveram como referência as Divisões e Comissões da Estrutura Científica da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Outras classes de assunto foram acrescentadas quando foi necessário.

Foi conferido um ou mais assuntos para cada documento a depender do caso e foco da pesquisa, por exemplo, se o artigo é sobre aspectos bioquímicos do solo, será atribuído a ele os temas “Biologia do Solo” e “Química do Solo”; se abordou a distribuição espacial de organismos do solo, o assunto “Biogeografia do Solo” foi conferido. Dessa forma foi possível identificar os aspectos mais frequentes bem como visualizar o perfil geral das publicações. Para a análise final, cada tema foi contabilizado individualmente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

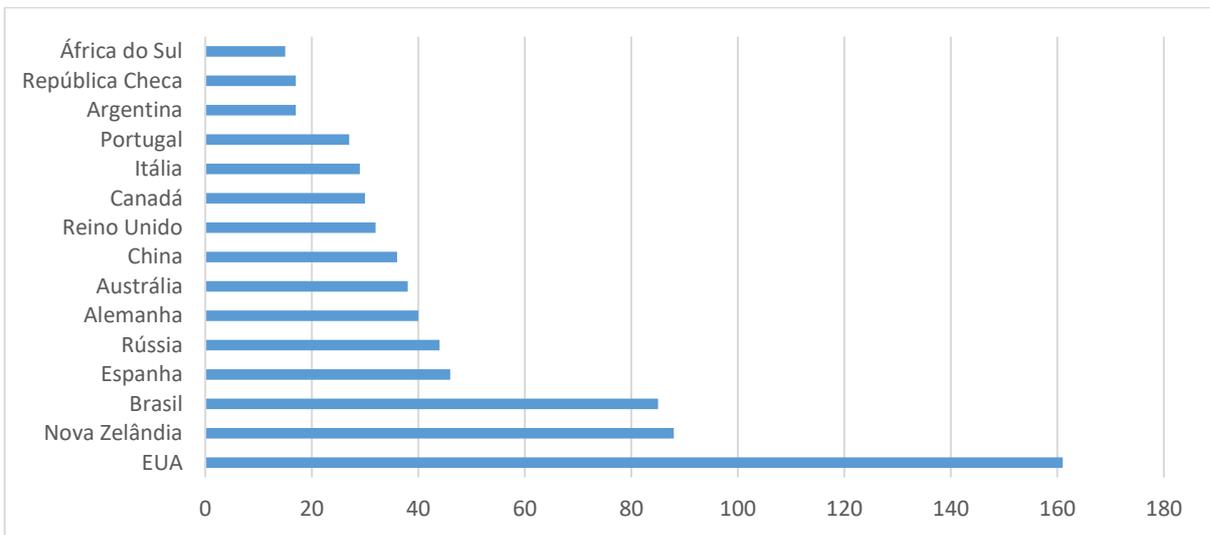
O interesse sobre a paisagem pedológica antártica é influenciado pelo contexto científico-tecnológico, ambiental e sociopolítico da região. O avanço das técnicas e métodos de análise nos campos da microbiologia e das geociências, o agravamento das mudanças climáticas globais e a oficialização das classes dos Gelissolos/Criossolos contribuiu para que a pesquisa sobre solos da Antártica crescesse e se consolidasse.

Os resultados permitiram afirmar que certos padrões de pesquisa e produção científica sobre os solos antárticos acompanham os padrões gerais da grande área das ciências naturais, isto é, intensa produtividade e colaboração interna e externa dos principais grupos de pesquisa, alto grau de internacionalização e citação entre os autores.

Padrões de desigualdade entre países com alto investimento em Ciência e/ou em seus programas antárticos já indicados em estudos anteriores (BARROS, 2005; DUDENEY; WALTON, 2012; GRAY; HUGHES, 2016) aqui também se veem refletidos uma vez que os cinco países com o maior número de publicações respondem por cerca de 76% das publicações num universo de 49 países. E entre os 15 principais, apenas Brasil, China e África do Sul não são considerados países desenvolvidos (Figura 2). Há uma clara diferença entre a produção dos 3 primeiros e dos demais que torna EUA, Nova Zelândia e Brasil os principais países a pesquisarem os solos antárticos.



Figura 2 – Os 15 países com mais publicações



Fonte: Elaborado pelo autor

O mapa da Figura 3 permite notar a desigualdade entre os países, a baixa produção geral da América Latina, Ásia, leste europeu e a quase ausência dos países africanos. Nações que sem bases científicas na Antártica também estão presentes tais como Canadá, Colômbia, Portugal, México, entre outros. Isso indica que as parcerias científicas vão além do âmbito do STA e possibilita a inserção do restante do planeta na ciência antártica.

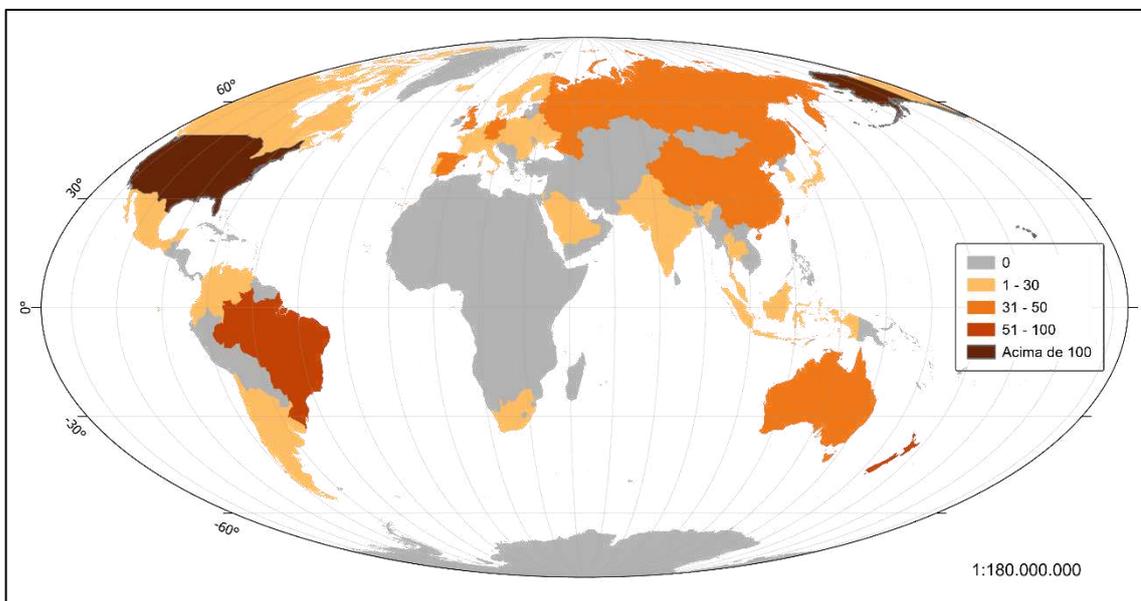


Figura 3 – Países com mais de 1 publicação

Fonte: Elaborado pelo autor.

A rede de coautoria entre países (Figura 4) revelou que EUA, Nova Zelândia, Brasil, Rússia e Espanha desempenham papéis-chave na interconexão geral e em cada agrupamento (cluster), influenciando outros com maior proximidade de pesquisa e publicação seja por proximidade linguística, geográfica ou expertise científica.

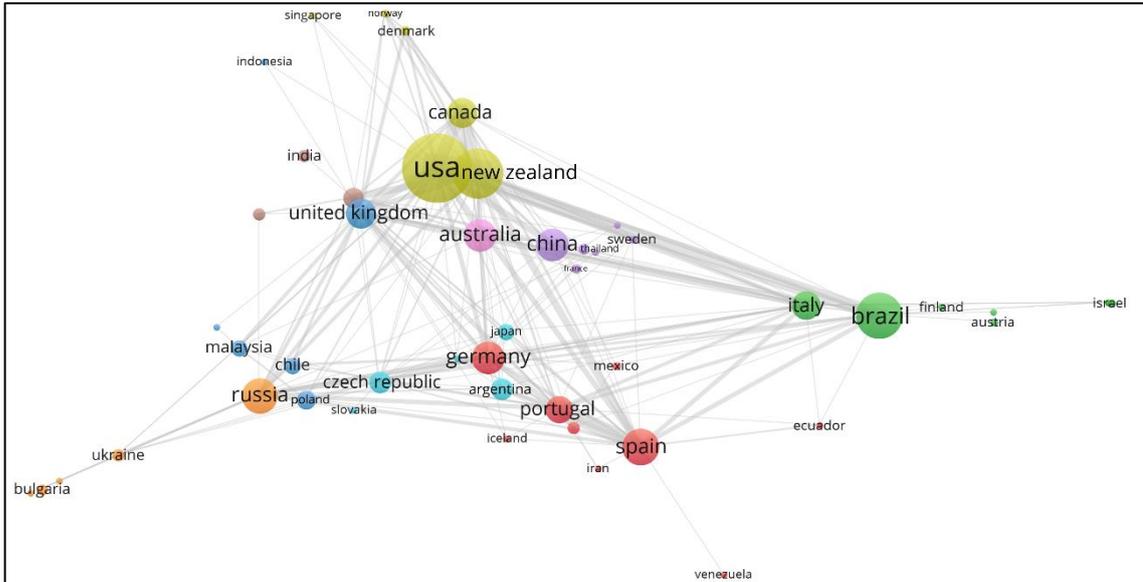


Figura 4 – Rede de coautoria por país

Fonte: Elaborado pelo autor.

O estudo acompanhou o crescimento e diversificação do grupo de países que realizam pesquisas sobre solos antárticos ao longo do tempo (Figura 5). Apesar do aumento no número de países envolvidos, o movimento foi lento e a participação ainda é geograficamente desigual, provavelmente devido aos altos custos que envolvem a manutenção de um programa antártico tornando restrita não apenas a ciência pedológica, mas também a própria estrutura do Sistema do Tratado da Antártica.

Nos primeiros 30 anos (1958-1989), apenas 8 países foram identificados, aumentando para 24 nos 15 anos seguintes e chegando a 49 entre 2006 e 2021. O número de publicações também aumentou, de 48 no primeiro período para 402 no terceiro período.

Inicialmente, os países do hemisfério norte, com exceção da Austrália, Nova Zelândia, Chile e Índia, eram os principais pesquisadores dos solos antárticos. Apesar de haver uma redução na desigualdade ao longo do tempo, ainda existe uma diferença notável entre os países do hemisfério norte e sul.

Apesar da internacionalização e da troca de informações e experiências entre os pesquisadores, cada país tem sua própria tradição científica, capacidade de investimento em ciência e acesso a diferentes ambientes antárticos, dependendo da localização das estações de pesquisa e parcerias acadêmicas. Esses fatores influenciam as características da produção científica resultante, que podem ser capturadas através dos padrões conceituais e espaciais das publicações de cada país.

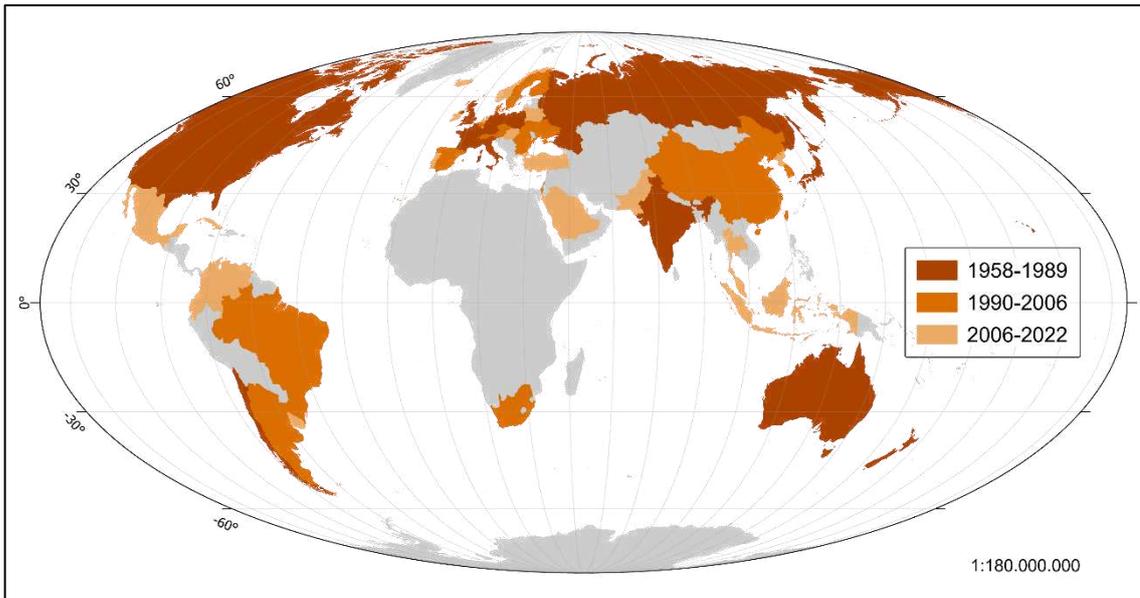


Figura 5 – Mapa dos países classificados por ano da primeira publicação

Fonte: Elaborado pelo autor

As palavras-chave das publicações revelaram que a pedologia antártica esteve desde o início ligada a dois grandes campos de pesquisa: um ligado às geociências e outro ligado às ciências da vida. Posteriormente, um terceiro campo se destacou: as relações humano-solo-ambiente, que compreendem estudos relacionados ao impacto humano nos ecossistemas terrestres locais e o potencial de biorremediação da biota antártica.

Considerando esse contexto, foram analisados os temas e localizações de pesquisa dos cinco principais países identificados: EUA, Nova Zelândia, Brasil, Espanha e Rússia.

Os EUA, juntamente com a Inglaterra e a Nova Zelândia, são pioneiros na pesquisa pedológica antártica. As principais temáticas de pesquisa das publicações estadunidenses abrangem temas ligados à biologia (tons de verde) e às geociências (tons de vermelho), que se inter-relacionam formando diversos assuntos e objetos de estudo (Figura 6).

No campo da biologia destacam-se a microbiologia e a ecologia do solo sendo que a primeira tem maior foco em bactérias (AISLABIE et al., 2006; SMITH et al., 2006), fungos (ARENZ et al., 2006; ARENZ; BLANCHETTE, 2011) e sua codificação genética a fim de isolar genes interessantes à bioprospecção; a segunda estuda a fauna do solo, principalmente nematódeos (FRECKMAN; VIRGINIA, 1997) além de abordar o solo como ecossistemas terrestres a afim de compreender a dinâmica solo-fauna-ambiente (HOGG et al., 2006; SIMMONS et al., 2009; NIELSEN et al., 2011).



microrganismos terrestres com destaque para bactérias (ROESCH et al., 2012) e fungos (WENTZEL et al., 2019; SILVA et al., 2020).

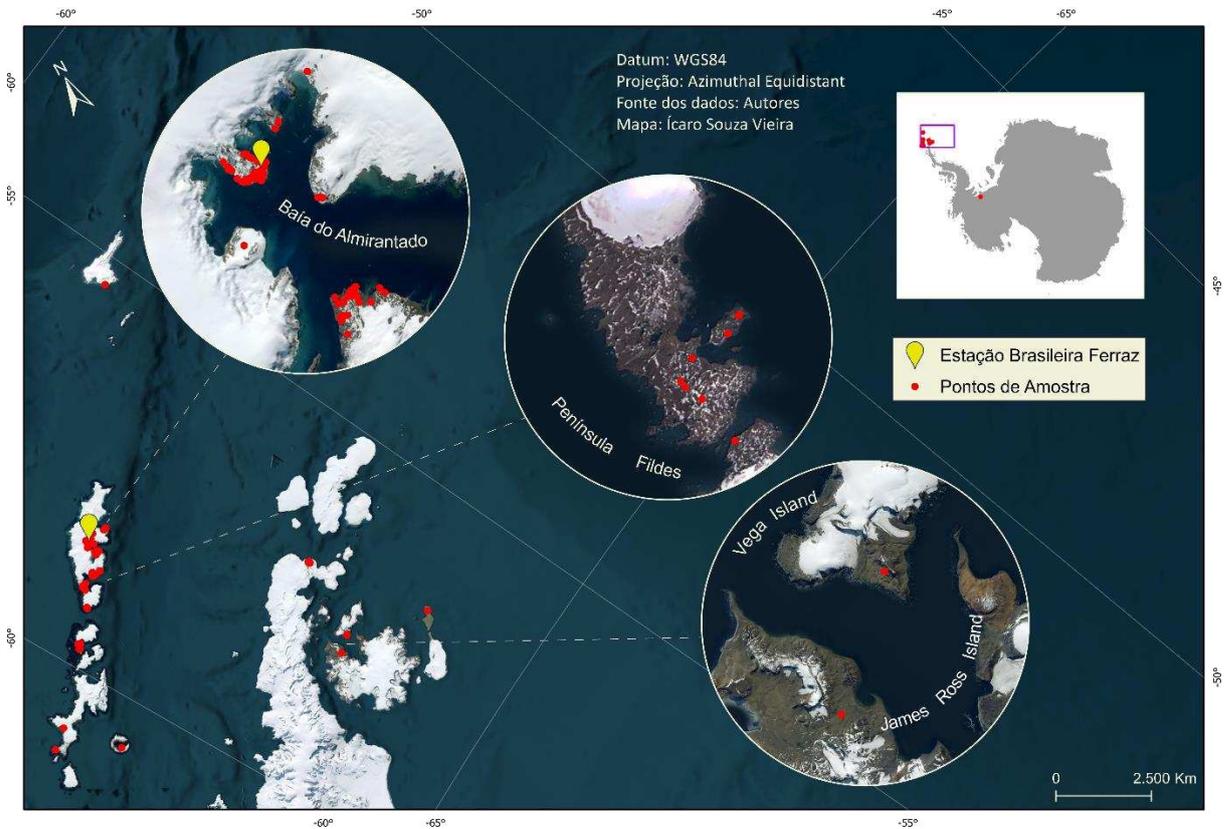


Figura 10 – Principais localidades estudadas pelo Brasil na Antártica
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os principais campos de pesquisa explorados pela Espanha são relacionados às geociências e à biologia do solo. O primeiro é focado no estudo dos aspectos térmicos (GOYANES et al., 2014; FERREIRA et al., 2017) e geoquímicos do permafrost (NAVAS et al., 2008, 2017, 2018). Também há destaques com abordagens que estudaram a relação entre solos e relevo periglacial (NAVAS et al., 2008; LÓPEZ-MARTÍNEZ et al., 2012).

As análises microbiológicas tiveram ênfase na diversidade de bactérias através do sequenciamento genético proveniente do RNA desses organismos (BLANCO et al., 2012). Pesquisadora espanhóis também publicaram um dos poucos trabalhos sobre a presença de vírus em solos da Antártica (RASTROJO; ALCAMÍ, 2018). As principais áreas de estudo foram localidades da Shetlands do Sul principalmente na Ilha Deception e localidades da Ilha Livingston como a Península Hurd (Figura 11).

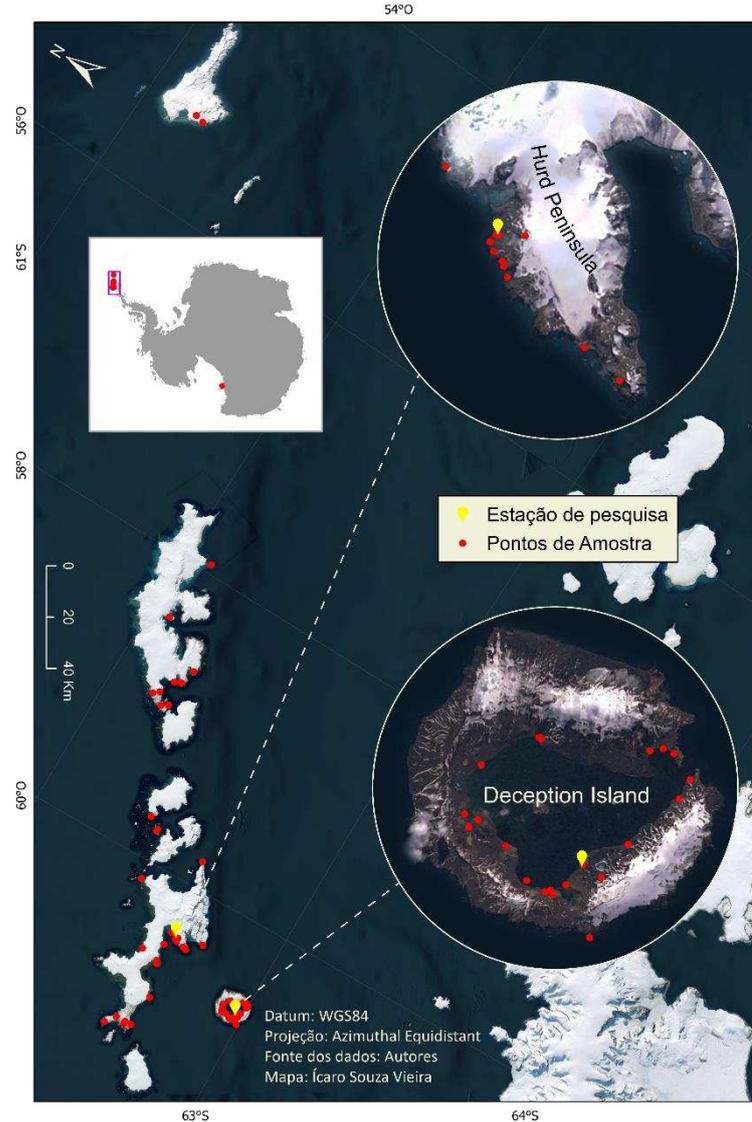


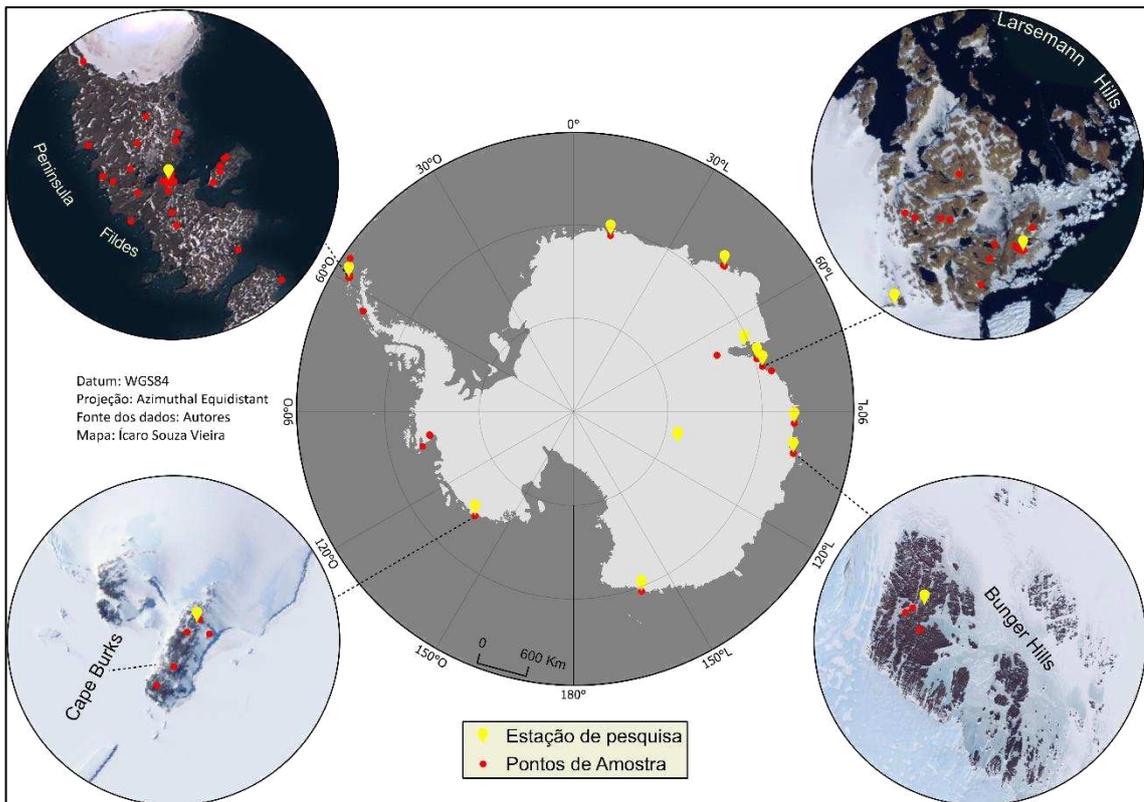
Figura 11 - Principais localidades estudadas pela Espanha na Antártica

Fonte: Elaborado pelo autor.

As publicações russas apresentaram alta variação e entrelaçamento de temas. Um grupo focou no estudo da biogeoquímica dos solos com especial atenção a ação dos pinguins (*spheniscidae*) e da vegetação na formação do solo e as interrelações com as mudanças climáticas na Antártica Marítima (ABAKUMOV, 2010; PARNIKOZA et al., 2016; LUPACHEV; GUBIN; ABAKUMOV, 2020).

Outro grupo se dedicou ao monitoramento ambiental de localidades na Antártica Oriental abordando os impactos da ação humana nesses locais e comparando-os com outras áreas da Antártica (BALKS et al., 2013; ABAKUMOV et al., 2014; ALEKSEEV; ABAKUMOV, 2021; LODYGIN; ABAKUMOV; NIZAMUTDINOV, 2021).

Figura 12 - Principais localidades estudadas pela Rússia na Antártica



Fonte: Elaborado pelo autor.

A distribuição privilegiada das estações científicas russas ao longo da costa do continente permite a realização de estudos sobre morfologia (ABAKUMOV et al., 2021, 2013), classificação de solos (LUPACHEV et al., 2020; LUPACHEV; ABAKUMOV, 2013) e monitoramento do permafrost (ALEKSEEV; ABAKUMOV, 2020; KOTLYAKOV; OSOKIN; SOSNOVSKY, 2020) sob uma perspectiva espacial e comparada das diferentes paisagens antárticas (Figura 12).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou descrever e compreender a produção científica global sobre os solos antárticos, analisando os principais atores (países), temáticas de pesquisa e locais estudados através de dados bibliográficos das bases Web of Science e Scopus.

Foi constatado que certos padrões do assunto acompanham aspectos gerais da grande área das ciências naturais, como a intensa produtividade dos grupos de pesquisa e o alto grau de internacionalização. Identificou-se que padrões de desigualdade entre países com alto investimento em Ciência e em seus programas antárticos também surgem na pesquisa pedológica, com uma alta concentração da produção entre os 5 países com maior número de publicações.



Os principais campos de pesquisa pedológica na Antártica estão relacionados às geociências, à biologia e às relações humano-ambiente. Dentro desse cenário, os países possuem “tradições” científicas próprias que se refletem nos diferentes focos e locais de pesquisa. Por exemplo, EUA e Nova Zelândia concentram suas pesquisas na região dos Vales Secos, principalmente em pesquisas de pedometria/ecologia do solo e microbiologia/poluição do solo, respectivamente.

O Brasil desenvolve pesquisas biogeoquímicas principalmente numa abordagem pedogeomorfológica, com uma forte produção em microbiologia focada em fungos. A Espanha possui um foco em pedometria e estudo de geoquímica dos solos. Ambos os países concentram suas pesquisas na Antártica Marítima. A Rússia, por sua vez, foca suas pesquisas nas relações humano-ambiente, especialmente na poluição do solo, e em análises morfológicas e biogeoquímicas em estudos comparativos de diversas localidades da Antártica.

Este trabalho fornece uma visão abrangente da produção científica sobre os solos antárticos, identificando os principais países, temas de pesquisa e paisagens estudadas. A análise cienciométrica utilizada é uma ferramenta valiosa para pesquisadores e formuladores de políticas, permitindo a identificação de áreas de foco e colaboração potencial.

REFERÊNCIAS

- ABAKUMOV, E. et al. Micromorphological structure of maritime antarctic cryosols (King-George and Livingston Islands, West Antarctica). **Czech Polar Reports**, v. 11, n. 2, p. 318–332, 2021.
- ABAKUMOV, E. V. The sources and composition of humus in some soils of West Antarctica. **Eurasian Soil Science**, v. 43, n. 5, p. 499–508, 2010.
- ABAKUMOV, E. V. et al. Micromorphological features of the fine earth and skeletal fractions of soils of West Antarctica in the areas of Russian Antarctic stations. **Eurasian Soil Science**, v. 46, n. 12, p. 1219–1229, 2013.
- ABAKUMOV, E. V. et al. [Polycyclic aromatic hydrocarbons content in Antarctica soils as exemplified by the Russian polar stations]. **Gigiena i sanitariia**, n. 1, p. 31–35, 2014.
- ADLAM, L. S. et al. Temporal and spatial variation in active layer depth in the McMurdo Sound Region, Antarctica. **Antarctic Science**, v. 22, n. 1, p. 45–52, 2009.
- AISLABIE, J.; FOGHT, J.; SAUL, D. Aromatic hydrocarbon-degrading bacteria from soil near Scott Base, Antarctica. **Polar Biology**, v. 23, n. 3, p. 183–188, 2000.
- AISLABIE, J. M. et al. Hexadecane mineralization activity in hydrocarbon-contaminated soils of Ross Sea region Antarctica may require nutrients and inoculation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 45, p. 49–60, 2012.
- AISLABIE, J. M. et al. Bacterial composition of soils of the Lake Wellman area, Darwin Mountains, Antarctica. **Extremophiles**, v. 17, n. 5, p. 775–786, 2013.



- AISLABIE, J. M.; JORDAN, S.; BARKER, G. M. Relation between soil classification and bacterial diversity in soils of the Ross Sea region, Antarctica. **Geoderma**, v. 144, n. 1–2, p. 9–20, 2008.
- AISLABIE, J.; MCLEOD, M.; FRASER, R. Potential for biodegradation of hydrocarbons in soil from the Ross Dependency, Antarctica. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 49, n. 2, p. 210–214, 1998.
- AISLABIE, JACKIE. M. et al. Dominant bacteria in soils of Marble Point and Wright Valley, Victoria Land, Antarctica. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 10, p. 3041–3056, 2006.
- ALEKSEEV, I.; ABAKUMOV, E. Permafrost table depth in soils of Eastern Antarctica oases, King George and Ardley Islands (South Shetland Islands). **Czech Polar Reports**, v. 10, n. 1, p. 7–22, 2020.
- ALEKSEEV, I.; ABAKUMOV, E. Content of Trace Elements in Soils of Eastern Antarctica: Variability Across Landscapes. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 80, n. 2, p. 368–388, 2021.
- ALMEIDA, I. C. C. et al. Active layer thermal regime at different vegetation covers at Lions Rump, King George Island, Maritime Antarctica. **Geomorphology**, v. 225, n. C, p. 36–46, 2014.
- ALMEIDA, I. C. C. et al. Long term active layer monitoring at a warm-based glacier front from maritime Antarctica. **Catena**, v. 149, p. 572–581, 2017.
- ALMEIDA, I. C. C. et al. Clay mineralogy and micropedology of phosphate-rich soils from Lions Rump, Maritime Antarctica. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 105, 2021.
- ARENZ, B. E. et al. Fungal diversity in soils and historic wood from the Ross Sea Region of Antarctica. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 10, p. 3057–3064, 2006.
- ARENZ, B. E.; BLANCHETTE, R. A. Distribution and abundance of soil fungi in Antarctica at sites on the Peninsula, Ross Sea Region and McMurdo Dry Valleys. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, n. 2, p. 308–315, 2011.
- BALKS, M. R. et al. Windows on Antarctic soil–landscape relationships: comparison across selected regions of Antarctica. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 381, n. 1, p. 397–410, jan. 2013.
- BARROS, F. **A tendência concentradora da produção do conhecimento no mundo contemporâneo**. Brasília: Paralelo 15, 2005.
- BOCKHEIM, J. G. Landform and soil development in the McMurdo Dry Valleys, Antarctica: A regional synthesis. **Arctic, Antarctic, and Alpine Research**, v. 34, n. 3, p. 308–317, 2002.
- BOCKHEIM, J. G. **Cryopedology**. Cham: Springer International Publishing, 2015.
- BOCKHEIM, J. G.; MCLEOD, M. Soil formation in Wright Valley, Antarctica since the late Neogene. **Geoderma**, v. 137, n. 1–2, p. 109–116, 2006.
- BOCKHEIM, J. G.; MCLEOD, M. Soil distribution in the McMurdo Dry Valleys, Antarctica. **Geoderma**, v. 144, n. 1–2, p. 43–49, 2008.
- BURKINS, M. B.; VIRGINIA, R. A.; WALL, D. H. Organic carbon cycling in Taylor Valley, Antarctica: Quantifying soil reservoirs and soil respiration. **Global Change Biology**, v. 7, n. 1, p. 113–125, 2001.



CHAVES, D. A. et al. Active layer and permafrost thermal regime in a patterned ground soil in Maritime Antarctica, and relationship with climate variability models. **Science of the Total Environment**, v. 584–585, p. 572–585, 2017.

COBO, M. J. et al. Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 62, n. 7, p. 1382–1402, 2011.

CURY, J. C. et al. Microbial diversity and hydrocarbon depletion in low and high diesel-polluted soil samples from Keller Peninsula, South Shetland Islands. **Antarctic Science**, v. 27, n. 3, p. 263–273, 2015.

DAHER, M. et al. Ornithogenic soils on basalts from maritime Antarctica. **Catena**, v. 173, p. 367–374, 2019.

DE JESUS, H. E. et al. Evaluation of soil bioremediation techniques in an aged diesel spill at the Antarctic Peninsula. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 99, n. 24, p. 10815–10827, 2015.

DELPUPO, C. et al. Soil and landform interplay in the dry valley of Edson Hills, Ellsworth Mountains, continental Antarctica. **Geomorphology**, v. 295, p. 134–146, 2017.

DIAZ, M. A. et al. Geochemical zones and environmental gradients for soils from the central Transantarctic Mountains, Antarctica. **Biogeosciences**, v. 18, n. 5, p. 1629–1644, 2021.

DUDENEY, J. R.; WALTON, D. W. H. Leadership in politics and science within the Antarctic Treaty. **Polar Research**, v. 31, n. 1, p. 1–9, jan. 2012.

FERREIRA, A. et al. Ground temperature and permafrost distribution in Hurd Peninsula (Livingston Island, Maritime Antarctic): An assessment using freezing indexes and TTOP modelling. **Catena**, v. 149, p. 560–571, 2017.

FRECKMAN, D. W.; VIRGINIA, R. A. Low-diversity antarctic soil nematode communities: Distribution and response to disturbance. **Ecology**, v. 78, n. 2, p. 363–369, 1997.

FRENKEN, K.; HARDEMAN, S.; HOEKMAN, J. Spatial scientometrics: Towards a cumulative research program. **Journal of Informetrics**, v. 3, n. 3, p. 222–232, jul. 2009.

GOLDEMBERG, J. et al. **Antártica e as mudanças globais: um desafio para a humanidade**. [s.l.] Editora Blucher, 2011.

GOYANES, G. et al. Thermal regime and spatial variability of the active layer in Deception Island, Antarctica. **Revista de la Asociacion Geologica Argentina**, v. 71, n. 1, 2014.

GRAY, A. D.; HUGHES, K. A. Demonstration of “substantial research activity” to acquire consultative status under the Antarctic Treaty. **Polar Research**, v. 35, n. 1, p. 1–12, jan. 2016.

GUERRA, M. B. B. et al. Post-fire study of the Brazilian Scientific Antarctic Station: Toxic element contamination and potential mobility on the surrounding environment. **Microchemical Journal**, v. 110, p. 21–27, 2013.

HARTEMINK, A. E. Open access publishing and soil science – Trends and developments. **Geoderma Regional**, v. 18, 2019.

HAUNSCHILD, R.; BORNMANN, L.; MARX, W. Climate Change Research in View of Bibliometrics. **Plos One**, v. 11, n. 7, p. e0160393, 29 jul. 2016.



- HOGG, I. D. et al. Biotic interactions in Antarctic terrestrial ecosystems: Are they a factor? **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 10, p. 3035–3040, 2006.
- JORGENSEN, M. T. et al. Resilience and vulnerability of permafrost to climate change. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 40, n. 7, p. 1219–1236, jul. 2010.
- KOTLYAKOV, V. M.; OSOKIN, N. I.; SOSNOVSKY, A. V. Dynamics of seasonally thawed layer on Svalbard and the Antarctic Peninsula in the XXI century according to modeling data. **Ice and Snow**, v. 60, n. 2, p. 201–212, 2020.
- LA SCALA, N. et al. Spatial and temporal variability in soil CO₂-C emissions and relation to soil temperature at King George Island, maritime Antarctica. **Polar Science**, v. 4, n. 3, p. 479–487, 2010.
- LIMA, R. A.; VELHO, L. M. L. S.; FARIA, L. I. L. Indicadores bibliométricos de colaboração científica na área de ciência do solo. Em: **Bibliometria e cientometria: metodologias e aplicações**. São Carlos, SP: : Pedro & João Editores, 2013. p. 47–59.
- LODYGIN, E.; ABAKUMOV, E.; NIZAMUTDINOV, T. The content of polyarenes in soils of antarctica: Variability across landscapes. **Land**, v. 10, n. 11, 2021.
- LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. et al. Periglacial processes and landforms in the South Shetland Islands (northern Antarctic Peninsula region). **Geomorphology**, v. 155–156, p. 62–79, 2012.
- LUPACHEV, A. V. et al. Soil cover of the Fildes Peninsula (King George Island, West Antarctica). **Catena**, v. 193, 2020.
- LUPACHEV, A. V.; ABAKUMOV, E. V. Soils of Marie Byrd Land, West Antarctica. **Eurasian Soil Science**, v. 46, n. 10, p. 994–1006, 2013.
- LUPACHEV, A. V.; GUBIN, S. V.; ABAKUMOV, E. V. Levels of Biogenic-Abiogenic Interaction and Structural Organization of Soils and Soil-Like Bodies in Antarctica. Em: FRANK-KAMENETSKAYA, O. V. et al. (Eds.). **Processes and Phenomena on the Boundary Between Biogenic and Abiogenic Nature**. Lecture Notes in Earth System Sciences. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 481–500.
- LYONS, W. B. et al. The Soil Geochemistry in the Beardmore Glacier Region, Antarctica: Implications for Terrestrial Ecosystem History. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 26189, 18 maio 2016.
- MCLEOD, M. et al. Soils of western Wright Valley, Antarctica. **Antarctic Science**, v. 21, n. 4, p. 355–365, 2009.
- MCLEOD, M.; BOCKHEIM, J. G.; BALKS, M. R. Glacial geomorphology, soil development and permafrost features in central-upper Wright Valley, Antarctica. **Geoderma**, v. 144, n. 1–2, p. 93–103, 2008.
- MENDONA, E. D. S. et al. Spatial variability models of CO₂ emissions from soils colonized by grass (*Deschampsia antarctica*) and moss (*Sanionia uncinata*) in Admiralty Bay, King George Island. **Antarctic Science**, v. 23, n. 1, p. 27–33, 2011.
- MINASNY, B.; HARTEMINK, A. E.; MCBRATNEY, A. Individual, country, and journal self-citation in soil science. **Geoderma**, v. 155, n. 3, p. 434–438, 15 mar. 2010.
- MOURA, P. A. et al. Distribution and characterization of soils and landform relationships in Byers Peninsula, Livingston Island, Maritime Antarctica. **Geomorphology**, v. 155–156, p. 45–54, 2012.



- NAVAS, A. et al. Soil characteristics on varying lithological substrates in the South Shetland Islands, maritime Antarctica. **Geoderma**, v. 144, n. 1–2, p. 123–139, 2008.
- NAVAS, A. et al. Radionuclides and soil properties as indicators of glacier retreat in a recently deglaciated permafrost environment of the Maritime Antarctica. **Science of the Total Environment**, v. 609, p. 192–204, 2017.
- NAVAS, A. et al. Interpreting environmental changes from radionuclides and soil characteristics in different landform contexts of Elephant Island (maritime Antarctica). **Land Degradation and Development**, v. 29, n. 9, p. 3141–3158, 2018.
- NELSON, F. E.; SHIKLOMANOV, N. I.; NYLAND, K. E. Cool, CALM, collected: the Circumpolar Active Layer Monitoring program and network. **Polar Geography**, v. 44, n. 3, p. 155–166, 2021.
- NIELSEN, U. N. et al. Antarctic nematode communities: observed and predicted responses to climate change. **Polar Biology**, v. 34, n. 11, p. 1701–1711, 2011.
- OLIVEIRA FILHO, J. DE S. A bibliometric analysis of soil research in Brazil 1989–2018. **Geoderma Regional**, v. 23, p. e00345, dez. 2020.
- O’NEILL, T. et al. The short-term effects of surface soil disturbance on soil bacterial community structure at an experimental site near Scott Base, Antarctica. **Polar Biology**, v. 36, n. 7, p. 985–996, 2013.
- PARNIKOZA, I. et al. Soils of the argentine islands, antarctica: Diversity and characteristics. **Polarforschung**, v. 86, n. 2, p. 83–96, 2016.
- PEREIRA, T. T. C. et al. Micromorphological and microchemical indicators of pedogenesis in Ornithogenic Cryosols (Gelisols) of Hope Bay, Antarctic Peninsula. **Geoderma**, v. 193–194, p. 311–322, 2013a.
- PEREIRA, T. T. C. et al. Genesis, mineralogy and ecological significance of ornithogenic soils from a semi-desert polar landscape at Hope Bay, Antarctic Peninsula. **Geoderma**, v. 209–210, p. 98–109, 2013b.
- RAMSAY, A. J. Bacterial biomass in ornithogenic soils of Antarctica. **Polar Biology**, v. 1, n. 4, p. 221–225, 1983.
- RASTROJO, A.; ALCAMÍ, A. **Viruses in Polar Lake and Soil Ecosystems**. [s.l.] Academic Press Inc., 2018. v. 101p. 54
- RODRIGUES, W. F. et al. Soil-landscape interplays at Harmony Point, Nelson Island, Maritime Antarctica: Chemistry, mineralogy and classification. **Geomorphology**, v. 336, p. 77–94, 2019.
- RODRIGUES, W. F. et al. Phosphatization under birds’ activity: Ornithogenesis at different scales on Antarctic Soilscapes. **Geoderma**, v. 391, 2021.
- ROESCH, L. F. W. et al. Soil bacterial community abundance and diversity in ice-free areas of Keller Peninsula, Antarctica. **Applied Soil Ecology**, v. 61, p. 7–15, 2012.
- SANTOS, I. R. et al. Heavy metal contamination in coastal sediments and soils near the Brazilian Antarctic Station, King George Island. **Marine Pollution Bulletin**, v. 50, n. 2, p. 185–194, 2005.



- SAUL, D. et al. Hydrocarbon contamination changes the bacterial diversity of soil from around Scott Base, Antarctica. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 53, n. 1, p. 141–155, 1 jun. 2005.
- SCHMITZ, D. et al. How does the pedoenvironmental gradient shape non-vascular species assemblages and community structures in Maritime Antarctica? **Ecological Indicators**, v. 108, 2020.
- SCHUUR, E. A. G. et al. Climate change and the permafrost carbon feedback. **Nature**, v. 520, n. 7546, p. 171–179, abr. 2015.
- SHANHUN, F. L. et al. Abiotic processes dominate CO₂ fluxes in Antarctic soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 53, p. 99–111, 2012.
- SHUR, Y. L.; JORGENSEN, M. T. Patterns of permafrost formation and degradation in relation to climate and ecosystems. **Permafrost and Periglacial Processes**, v. 18, n. 1, p. 7–19, jan. 2007.
- SILVA, T. H. et al. Diversity, distribution, and ecology of viable fungi in permafrost and active layer of Maritime Antarctica. **Extremophiles**, v. 24, n. 4, p. 565–576, 2020.
- SIMAS, F. N. B. et al. Clay-sized minerals in permafrost-affected soils (Cryosols) from King George Island, Antarctica. **Clays and Clay Minerals**, v. 54, n. 6, p. 721–736, 2006.
- SIMMONS, B. L. et al. Long-term experimental warming reduces soil nematode populations in the McMurdo Dry Valleys, Antarctica. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, n. 10, p. 2052–2060, 2009.
- SLETTEN, R. S. Resurfacing time of terrestrial surfaces by the formation and maturation of polygonal patterned ground. **Journal of Geophysical Research**, v. 108, n. E4, p. 8044, 2003.
- SMITH, J. J. et al. Bacterial diversity in three different antarctic cold desert mineral soils. **Microbial Ecology**, v. 51, n. 4, p. 413–421, 2006.
- THOMAZINI, A. et al. The spatial variability structure of soil attributes using a detailed sampling grid in a typical periglacial area of Maritime Antarctica. **Environmental Earth Sciences**, v. 77, n. 18, 2018.
- TURNER, J. et al. Antarctic climate change during the last 50 years. **International Journal of Climatology**, v. 25, n. 3, p. 279–294, 15 mar. 2005.
- VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. **VOSViewer: Visualizing Scientific Landscapes**. , 2022. Disponível em: <vosviewer.com>
- VAUGHAN, D. G. et al. Recent rapid regional climate warming on the Antarctic Peninsula. **Climatic Change**, v. 60, n. 3, p. 243–274, 2003.
- WENTZEL, L. C. P. et al. Fungi from Admiralty Bay (King George Island, Antarctica) Soils and Marine Sediments. **Microbial Ecology**, v. 77, n. 1, p. 12–24, 2019.
- ZAWIERUCHA, K. et al. A nematode in the mist: *Scottinema lindsayae* is the only soil metazoan in remote antarctic deserts, at greater densities with altitude. **Polar Research**, v. 38, 2019.
- ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric Methods in Management and Organization. **Organizational Research Methods**, v. 18, n. 3, p. 429–472, 2015.