

Solos expansivos no contexto do território brasileiro: Revisão sistemática com análise bibliométrica da literatura

Expansive soils in the context of the Brazilian territory: A systematic review with bibliometric analysis of the literature

Suelos expansivos en el contexto del territorio brasileño: Revisión sistemática con análisis bibliométrico de la literatura

Recebido: 12/11/2025 | Revisado: 16/11/2025 | Aceitado: 16/11/2025 | Publicado: 17/11/2025

Wilson Ramos Aragão Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8998-7611>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: wilsonramosaragao@hotmail.com

Hanna Barreto de Araújo Falcão Moreira

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0325-7519>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: hanna.bfalcão@ufpe.br

Resumo

Os solos expansivos são materiais em condição não saturada que, ao variar seu teor de umidade, podem diminuir ou aumentar de volume. O conhecimento sobre o fenômeno da expansividade é essencial para o planejamento e execução de projetos de engenharia, evitando transtornos e ações emergenciais decorrentes de patologias causadas pelas tensões de expansão. Assim, este artigo objetivou apresentar uma revisão sistemática com análise bibliométrica, buscando compreender os solos expansivos no contexto do território brasileiro. O estudo foi desenvolvido em quatro etapas: busca de artigos em base de dados, meta-análise, análises bibliométrica e sistemática. A pesquisa foi realizada na base Scopus, utilizando o método PRISMA para seleção dos artigos. Na meta-análise, foram extraídos dados bibliométricos e específicos das publicações, e a etapa de análise bibliométrica foi conduzida de forma quantitativa e qualitativa com auxílio dos softwares VOSviewer e Microsoft Excel. Na análise sistemática, as informações foram sintetizadas. Foram incluídos 14 artigos publicados entre 2013 e 2022. Observou-se que a maioria dos autores e instituições é das regiões Nordeste e Sul, evidenciando a necessidade de ampliação de estudos em outras regiões. As redes de coautoria indicam baixa interação entre pesquisadores e instituições internacionais. Constatou-se que o tema tem sido abordado com foco na caracterização física, química, mineralógica, hidrológica e mecânica dos solos, além de técnicas de melhoramento. Conclui-se que há relevância em desenvolver pesquisas sobre o comportamento hidromecânico nas escalas micro e macro e soluções que reduzam o potencial de expansividade, minimizando riscos em projetos de engenharia.

Palavras-chave: Solos Expansivos; Brasil; Revisão Sistemática; Método PRISMA.

Abstract

Expansive soils are unsaturated materials that can decrease or increase in volume when their moisture content changes. Understanding soil expansivity is essential for the planning and execution of engineering projects, preventing disruptions and emergency actions caused by expansion-related pathologies. Thus, this article aimed to present a systematic review with a bibliometric analysis, seeking to understand expansive soils in the context of the Brazilian territory. The study was developed in four stages: database article search, meta-analysis, bibliometric analysis, and systematic analysis. The data search was carried out in the Scopus database using the PRISMA method for article selection. In the meta-analysis, bibliometric and specific publication data were extracted, and the bibliometric analysis was conducted both quantitatively and qualitatively using VOSviewer and Microsoft Excel software. In the systematic analysis, the information was synthesized. Fourteen articles published between 2013 and 2022 were included. Most authors and institutions are from the Northeast and South regions, highlighting the need to expand studies to other areas. The co-authorship networks revealed limited collaboration between authors and international institutions. The topic has mainly been approached through studies focused on the physical, chemical, mineralogical, hydrological, and mechanical characterization of expansive soils, as well as on improvement

techniques. It is concluded that it is relevant to develop research on the hydromechanical behavior at micro and macro scales and on solutions that reduce the expansivity potential, minimizing risks in engineering projects.

Keywords: Expansive Soils; Brazil; Systematic Review; PRISMA Method.

Resumen

Los suelos expansivos son materiales en condición no saturada que, al variar su contenido de humedad, pueden disminuir o aumentar su volumen. Comprender el fenómeno de la expansividad es esencial para la planificación y ejecución de proyectos de ingeniería, evitando trastornos y acciones de emergencia derivadas de patologías causadas por las tensiones de expansión. Así, este artículo tuvo como objetivo presentar una revisión sistemática con análisis bibliométrico, buscando comprender los suelos expansivos en el contexto del territorio brasileño. El estudio se desarrolló en cuatro etapas: búsqueda de artículos en bases de datos, metaanálisis, análisis bibliométrico y análisis sistemático. La búsqueda se realizó en la base Scopus mediante el método PRISMA para la selección de artículos. En el metaanálisis se extrajeron datos bibliométricos y específicos de las publicaciones, y el análisis bibliométrico se llevó a cabo de forma cuantitativa y cualitativa utilizando los programas VOSviewer y Microsoft Excel. En el análisis sistemático, la información fue sintetizada. Se incluyeron 14 artículos publicados entre 2013 y 2022. La mayoría de los autores e instituciones pertenecen a las regiones Nordeste y Sur, lo que evidencia la necesidad de ampliar los estudios a otras áreas. Las redes de coautoría muestran una baja interacción entre investigadores y con instituciones internacionales. El tema ha sido abordado principalmente desde la caracterización física, química, mineralógica, hidrológica y mecánica, además de técnicas de mejoramiento. Se concluye que es relevante desarrollar investigaciones sobre el comportamiento hidromecánico a escalas micro y macro y sobre soluciones que reduzcan el potencial de expansividad, minimizando los riesgos en proyectos de ingeniería.

Palabras clave: Suelos Expansivos; Brazil; Revisión Sistemática; Método PRISMA.

1. Introdução

Os solos expansivos, são aqueles que quando alteram sua condição de umidade, podem diminuir ou aumentar o seu volume. Estes solos não saturados, com esta classificação de expansividade apresentam grandes variações volumétricas com o aumento da umidade, e retrações bruscas com a perda dela, no qual a variação de volume pode chegar a valores superiores a 30% (Tenório, 2018).

Os solos expansivos estão associados a dois requisitos: o extrínseco, que compreende a climatologia, a hidrogeologia, a vegetação e a ocupação antrópica e o intrínseco que se entende pela composição mineralógica, textura e estrutura do solo (Morais, 2017).

Assim, nas estações secas este tipo de solo contrai chegando até a causar fissuras e fendas, e nas estações mais úmidas o solo se expande aumentando de volume, desestabilizando as fundações, podendo até elevar a estrutura. Em períodos mais chuvosos ou em ocasiões que gerem uma elevação da sua umidade, pode-se alcançar valores de expansão elevados (Ferreira, 1995).

Segundo Paiva (2016), a tomada de medidas mitigatórias com a finalidade de diminuir ou, até mesmo, anular o fenômeno de expansividade de um solo, é de grande importância para execução de um projeto de engenharia, evitando assim, grandes transtornos, ou ações emergenciais, devido às patologias causadas pelas tensões de expansão.

De acordo com Galvão e Pereira (2014), tanto os estudos bibliométricos quanto as revisões sistemáticas constituem abordagens que permitem compreender o progresso científico e reconhecer pontos de divergência na produção acadêmica. Os autores destacam que, quando direcionado por uma pergunta claramente delimitada, esse tipo de estudo possibilita localizar, selecionar, analisar e reunir de forma integrada as evidências mais relevantes presentes na literatura.

Nesse contexto, ferramentas de revisão de literatura tem por objetivo reunir materiais sobre a temática estudada na visão de vários autores e realizar uma análise estatística e textual, utilizando os dados da produção científica oriunda de estudos primários.

Diante disso, é necessário analisar o conhecimento atual sobre solos expansivos no contexto do território brasileiro, para destacar pesquisas realizadas, de maneira a auxiliar estudos posteriores e a identificar lacunas. Assim, este artigo

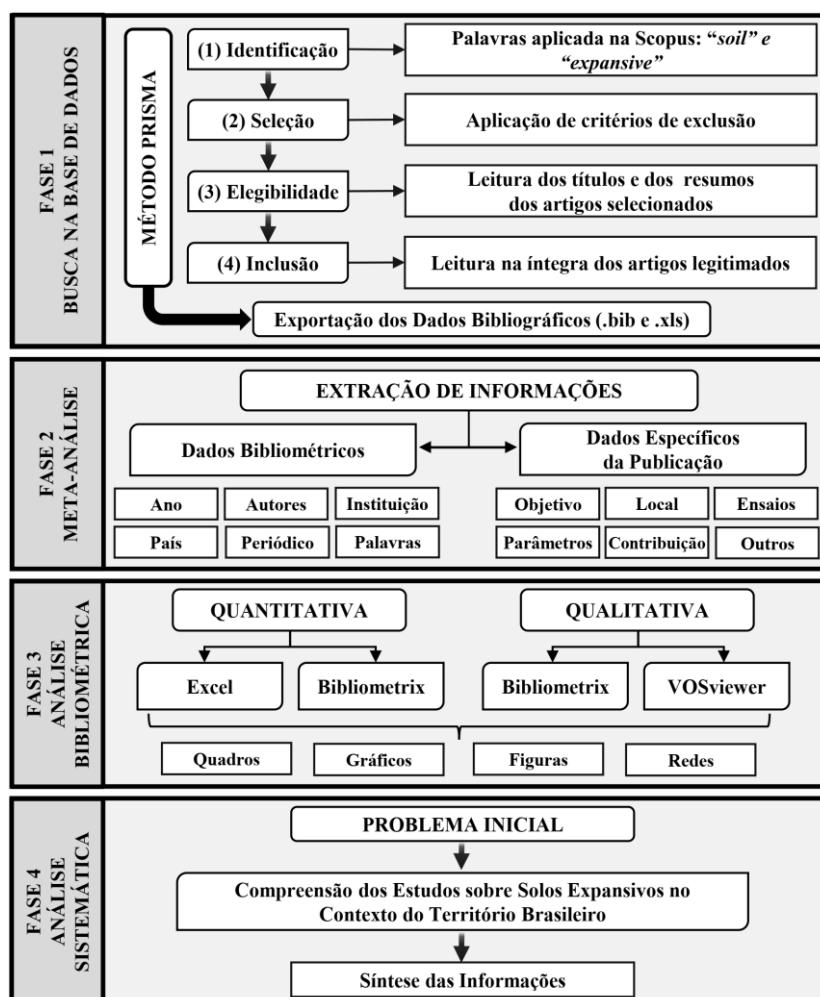
objetivou apresentar uma revisão sistemática com análise bibliométrica, buscando compreender os solos expansivos no contexto do território brasileiro.

2. Metodologia

Realizou-se uma pesquisa de natureza qualitativa e quantitativa (Pereira et al., 2018) com uso de estatística descritiva simples com gráficos de barras, classes de dados por ano, por universidade, por quantidade de citações e com valores de frequência absoluta em quantidade e frequência relativa porcentual (Shitsuka et al., 2014) de pesquisa bibliográfica (Snyder, 2019) do tipo bibliométrica (Araújo, 2006). Dessa forma, adotou-se um modelo híbrido estruturado em um conjunto organizado de fases e etapas, com o objetivo de examinar o contexto, as aplicações e os resultados encontrados, em consonância com a proposta de Pluye e Hong (2014).

Nesse sentido, o estudo foi organizado em quatro momentos que compuseram o método sistemático da pesquisa: (1) levantamento nas bases de dados; (2) realização da meta-análise; (3) análise bibliométrica; e (4) execução da análise sistemática (Figura1).

Figura 1 – Fluxograma sistemático da pesquisa bibliográfica sobre solos expansivos no contexto do território brasileiro.



Fonte: Autoria própria.

2.1 Fase 1: Busca na base de dados

Para o desenvolvimento deste estudo, adotou-se a base de dados Scopus — reconhecida pela ampla cobertura de publicações científicas — acessada por meio do portal da CAPES. O objetivo foi localizar trabalhos que abordassem solos expansivos no contexto brasileiro. A seleção dos artigos seguiu a metodologia PRISMA (Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-Análises), estruturada em quatro etapas: identificação, seleção, elegibilidade e inclusão (Moher et al., 2010).

A busca ocorreu em outubro de 2022. Na fase de identificação, foram empregados simultaneamente os termos “soil” e “expansive”, combinados pelo operador booleano “and”, o que resultou em 5.383 publicações. Em seguida, na etapa de seleção, aplicaram-se critérios de exclusão utilizando os filtros disponíveis, restringindo a amostra a artigos científicos — de pesquisa ou revisão — publicados em periódicos na versão final e que tivessem autores vinculados a instituições brasileiras. Após essa filtragem, permaneceram 57 artigos.

Na fase de elegibilidade, procedeu-se à leitura dos títulos e dos resumos, o que levou à exclusão de 39 estudos por não abordarem os temas investigados, resultando em um conjunto de 18 artigos. Por fim, na etapa de inclusão, realizou-se a leitura integral dos trabalhos selecionados, eliminando-se quatro deles por não estarem alinhados ao eixo temático central da pesquisa. Assim, chegou-se ao total de 14 artigos, cujos dados bibliométricos foram exportados nos formatos (.bib e .xls) para processamento nos softwares específicos.

A expressiva redução entre o número inicial de documentos encontrados e o total final de artigos analisados demonstra a importância do protocolo PRISMA na elaboração de revisões sistemáticas e na condução de análises bibliométricas, contribuindo para a redução de vieses e para a construção de um panorama científico mais confiável.

2.2 Fase 2: Meta-análise

Os dados bibliométricos extraídos dos artigos selecionados foram organizados em duas categorias, visando seu uso nas etapas subsequentes: informações bibliométricas da publicação e informações específicas de cada estudo. Para a etapa de Análise Bibliométrica, consideraram-se como dados bibliométricos os seguintes elementos: ano de publicação, autoria, instituições de vínculo dos autores, país de origem, natureza do artigo (pesquisa ou revisão), periódico em que foi publicado e termos presentes no título, resumo e palavras-chave.

Quanto às informações específicas destinadas à fase de Análise Sistemática, estas abrangiam os aspectos diretamente relacionados ao conteúdo investigado nos artigos, tais como: objetivo do estudo, área geográfica analisada, materiais empregados para o melhoramento do solo e/ou tipos de ensaios realizados, identificação de argilominerais e principais contribuições apresentadas para o avanço do conhecimento na área.

2.3 Fase 3: Análise bibliométrica

A análise bibliométrica permite visualizar de forma ampla o panorama da produção científica, bem como acompanhar a evolução e o amadurecimento do tema investigado (Najmi et al., 2017). Neste estudo, a bibliometria foi conduzida por meio de indicadores quantitativos e qualitativos. Para a etapa quantitativa, empregaram-se os programas Microsoft Office Excel e R Studio, utilizando o pacote Bibliometrix, com o objetivo de aplicar estatística descritiva e gerar representações gráficas das informações coletadas.

Para a análise qualitativa, recorreu-se ao software VOSviewer, responsável pela elaboração de redes bibliométricas. Nessas redes, as cores identificam os agrupamentos formados (clusters), enquanto as linhas indicam o grau de relação entre os elementos e o tamanho dos círculos reflete o impacto de cada item no conjunto analisado. Foram produzidas, assim, redes

baseadas em relações de coautoria, permitindo mapear autores, instituições e países, além de evidenciar as interações entre eles e revelar a configuração social da área de pesquisa.

2.4 Fase 4: Análise sistemática

Partindo da questão central — identificar e compreender os estudos publicados em periódicos, tanto pesquisas quanto revisões, realizados por autores vinculados a instituições brasileiras sobre solos expansivos — procedeu-se à análise dos artigos com base nos dados extraídos. Para organizar e sintetizar essas informações, foram elaboradas tabelas de resumo contemplando: objetivos das pesquisas, áreas de estudo, materiais empregados para o melhoramento do solo e/ou ensaios executados, argilominerais identificados e principais contribuições apresentadas por cada trabalho, de modo a orientar investigações futuras.

A análise sistemática da literatura permite construir uma visão abrangente, estruturada e confiável sobre o estado da arte, possibilitando a identificação de lacunas e tendências na produção científica da área. Isso ocorre porque se trata de um procedimento metodológico rigoroso, que reduz a ocorrência de vieses e garante a reproduzibilidade dos resultados (Liu et al., 2019; Pantaleão & Veiga, 2019).

3. Resultados e Discussão

3.1 Análise bibliométrica

Os 14 trabalhos selecionados foram publicados entre os anos de 2013 e 2022, sendo três trabalho escrito em português e 11 em inglês. O número de autores por artigo variou de dois a oito, em Souza e Pejon (2020) e Borba et al. (2019), respectivamente, totalizando 54 autores (Quadro 1).

Quadro 1 - Dados gerais dos artigos selecionados.

Título	Autores	Instituição	País	Periódico	Ano			
<i>Volume change behavior due to water content variation in an expansive soil from the semiarid region of Pernambuco - Brazil</i>	Ferreira, S. R. M	Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)	Brasil	Soils and Rocks	2013			
		Universidade de Pernambuco (UPE)						
		Universidade Católica de Pernambuco (Unicap)						
	Costa, L. M	UFPE						
	Guimarães, L. J. N.							
	Pontes Filho, I. D. S.							
<i>Propriedades geotécnicas de um solo expansivo tratado com cal</i>	Paiva, S. C.	Unicap	Brasil	Revista Matéria	2016			
	Lima, M. A. A.	UFPE						
	Ferreira, M. G. V. X.	Unicap						
	Ferreira, S. R. M.	Unicap						
		UFPE						

Título	Autores	Instituição	País	Periódico	Ano			
<i>Rheological parameters as affected by water tension in subtropical soils</i>	Pértile, P.	Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)	Brasil	Revista Brasileira de Ciência do Solo	2016			
	Reichert, J. M.							
	Gubiani, P. I.							
	Holthusen, D.	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel	Alemanha					
	Costa, A.	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina	Brasil					
<i>Effect of dry spells and soil cracking on runoff generation in a semiarid micro watershed under land use change</i>	Santos, J. C. N.	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro	Brasil	Journal of Hydrology	2016			
	Andrade, E. M.	Universidade Federal do Ceará (UFC)	Brasil					
	Guerreiro, M. J. S.	Universidade Fernando Pessoa	Portugal					
	Medeiros, P. H. A.	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFC)	Brasil					
	Queiroz Palácio, H. A.							
	Araújo Neto, J. R.							
<i>Clay Mineralogy of Brazilian Oxisols with Shrinkage Properties</i>	Testoni, S. A.	Universidade do Estado de Santa Catarina	Brasil	Revista Brasileira de Ciência do Solo	2017			
	Almeida, J. A.							
	Silva, L.							
	Andrade, G. R. P.	Universidade de São Paulo (USP)						
<i>Avaliação da expansão de um solo do município de Paulista-PE melhorado com cal</i>	Ferreira, S. R. M.	UFPE	Brasil	Revista Matéria	2017			
	Paiva, S. C.	Unicap						
	Morais, J. J. O.	UFPE						
	Viana, R. B.	Unicap						
<i>Swelling Behavior Evaluation of a Lime-Treated Expansive Soil through Centrifuge Test</i>	Belchior, I. M. R. M.	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro	Brasil	Journal of Materials in Civil Engineering	2017			
	Casagrande, M. D. T.							
	Zornberg, J. D.	University of Texas at Austin	Estados Unidos					
<i>Identificação de Argilominerais em Solo de Aterro Sanitário na Região Noroeste no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil</i>	Borba, W. F.	UFSM	Brasil	Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ	2019			
	Silva, J. L. S.							
	Kemerich, P. D. C.	Universidade Federal do Pampa						
	Fernandes, G. D.	UFSM						
	Terra, L. G.							
	Lobler, C. A.							
	Trombeta, H. W.							
	Souza, E. B.							

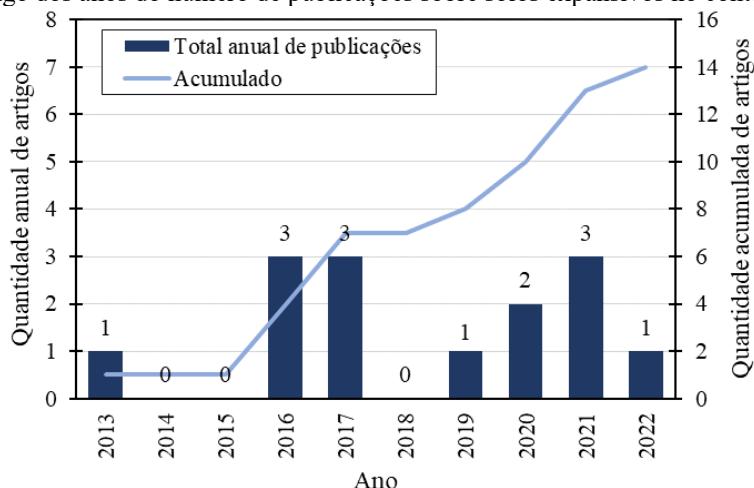
Título	Autores	Instituição	País	Periódico	Ano
<i>Key Parameter for Swelling Control of Compacted Expansive Fine-Grained Soil-Lime Blends</i>	Silvani, C. Lucena, L. C. F. L. Tenorio, E. A.G. Scheuermann Filho, H. C. Consoli, N. C.	Universidade Federal de Campina Grande Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)	Brasil	Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering	2020
<i>Pore size distribution and swelling behavior of compacted bentonite/claystone and bentonite/sand mixtures</i>	Souza, R. F. C. Pejon, O. J.	Universidade Federal de Alagoas USP	Brasil	Engineering Geology	2020
<i>Increasing density and cement content in stabilization of expansive soils: Conflicting or complementary procedures for reducing swelling?</i>	Consoli, N. C. Araújo, T. M. Ferrazzo, S. T. Rodrigues, V. L. Rocha, C. G.	UFRGS University of Technology Sydney	Brasil Australia	Canadian Geotechnical Journal	2020
<i>Micro-structural and volumetric behaviour of bimodal artificial soils with aggregates</i>	Kühn, V. O. Lopes, B. C. F. L. Caicedo, B. Cordão-Neto, M. P.	Universidade Federal do Oeste da Bahia University of Strathclyde Universidad de Los Andes Universidade de Brasília	Brasil Reino Unido Colômbia Brasil	Brasil	2021
<i>Mechanical and Environmental Performance of Eggshell Lime for Expansive Soils Improvement</i>	Araújo, T. M. Ferrazzo, S. T. Bruschi, G. J. J. Consoli, N. C	UFRGS	Brasil	Transportation Geotechnics	2021
<i>Climate Data to Predict Geometry of Cracks in Expansive Soils in a Tropical Semiarid Region</i>	Ribeiro Filho, J. C. Andrade, E. M. Guerreiro, M. S. Palácio, H. A. Q. Brasil, J. B.	UFC Universidade Federal Rural do Semi-Árido Universidade Fernando Pessoa IFC UFC	Brasil Portugal Brasil	Sustainability	2022

Fonte: Autoria própria.

No cenário internacional, as publicações relacionadas ao tema “Solos Expansivos no Contexto do Território Brasileiro” somam, até o momento da consulta à base Scopus, 14 artigos (Figura 2), sendo o primeiro deles publicado em 2013. Observa-se um crescimento gradual na produção científica ao longo do tempo, impulsionado pelas pesquisas que começaram a ganhar força na primeira década dos anos 2000. Apesar de alguns anos sem registros de publicações — como 2014, 2015 e 2018 — a tendência geral é de aumento contínuo, especialmente a partir de 2020, indicando que o interesse pela temática está em expansão.

É importante ressaltar que o número de trabalhos referentes ao ano de 2022 não reflete o total produzido nesse período, visto que a busca foi realizada em outubro. Assim, a aparente redução em relação a 2021 não representa uma queda real no interesse pela área, mas apenas uma limitação temporal da coleta dos dados.

Figura 2 - Evolução ao longo dos anos do número de publicações sobre solos expansivos no contexto do território brasileiro.



Fonte: Autoria própria.

Os 54 autores responsáveis pelos 14 artigos analisados estão vinculados a diversas instituições. Dentre elas, apenas cinco apresentam mais de um pesquisador associado ao conjunto de publicações, somando 30 autores no total (Tabela 1). As demais instituições contam com menos de quatro autores cada.

Tabela 1 - Principais instituições com publicações sobre solos expansivos no contexto do território brasileiro.

Instituições	Estado	Região	Número de autores
Universidade Federal de Santa Maria	RS	Sul	10
Universidade Federal de Pernambuco	PE	Nordeste	6
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	RS	Sul	6
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará	CE	Nordeste	4
Universidade Católica de Pernambuco	PE	Nordeste	4

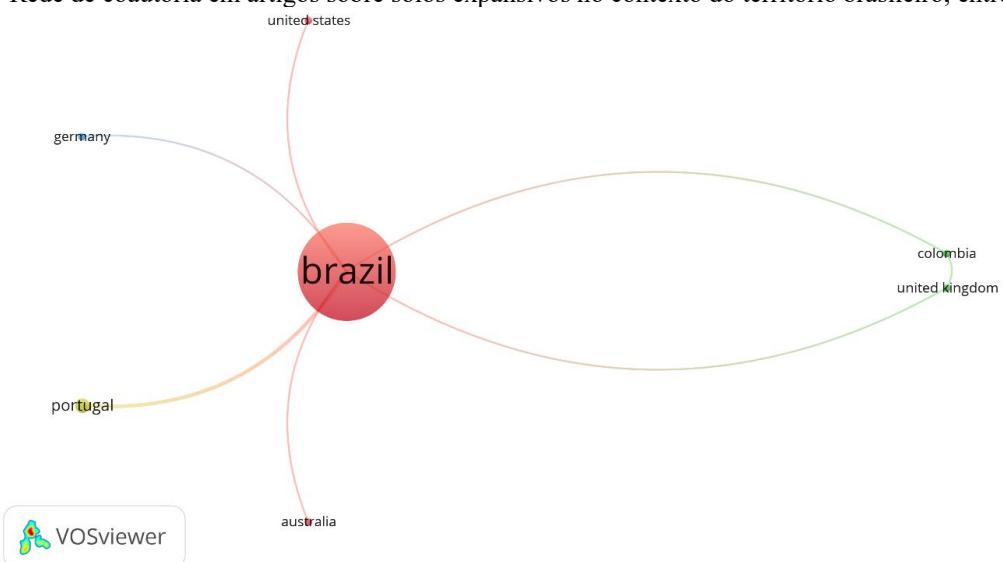
Fonte: Autoria própria.

As afiliações dos autores revelam um forte envolvimento de pesquisadores das regiões Nordeste e Sul, já que, entre as cinco instituições com maior número de autores, três estão situadas no Nordeste e duas no Sul. Esse cenário sugere oportunidades de cooperação entre grupos já consolidados na temática e equipes de outras regiões, como Norte e Centro-Oeste,

que não apareceram nas publicações analisadas.

A análise de redes de coautoria permite visualizar como pesquisadores, instituições ou países se conectam a partir da produção conjunta de estudos (Van Eck & Waltman, 2010; 2017). Com base nisso, utilizou-se o software VOSviewer para examinar as coautorias entre os países correspondentes às instituições dos autores dos artigos, possibilitando compreender as relações de colaboração existentes. Nessa representação, cada nó simboliza um país, cujo tamanho reflete a quantidade de artigos publicados; já os links indicam parcerias entre países, sendo sua espessura proporcional à intensidade da cooperação. Para identificar as principais redes, foram considerados somente os países com pelo menos dois documentos na amostra, o que resultou em uma rede composta por sete nós distribuídos em dois clusters de colaboração científica (Figura 3).

Figura 3 - Rede de coautoria em artigos sobre solos expansivos no contexto do território brasileiro, entre os países.



Fonte: Autores, utilizando o VOSviewer versão 1.6.14 (2022).

A baixa interação entre instituições brasileiras com as de outros países é demonstrada pela linearização da rede de coautoria. Apesar de seis artigos tiverem a elaboração por autores de países diferentes: Ribeiro Filho et al. (2022), Kühn et al. (2021), Consoli et al. (2021), Belchior et al. (2017), Santos et al. (2016) e Pértille et al. (2016). Destaca-se a interação colaborativa de autores brasileiros com pesquisadores de países da: Colômbia e Reino Unido (clusters em cor verde); Estados Unidos, e Austrália (clusters em cor vermelha); Alemanha (clusters em cor azul) e Portugal (clusters em cor amarela).

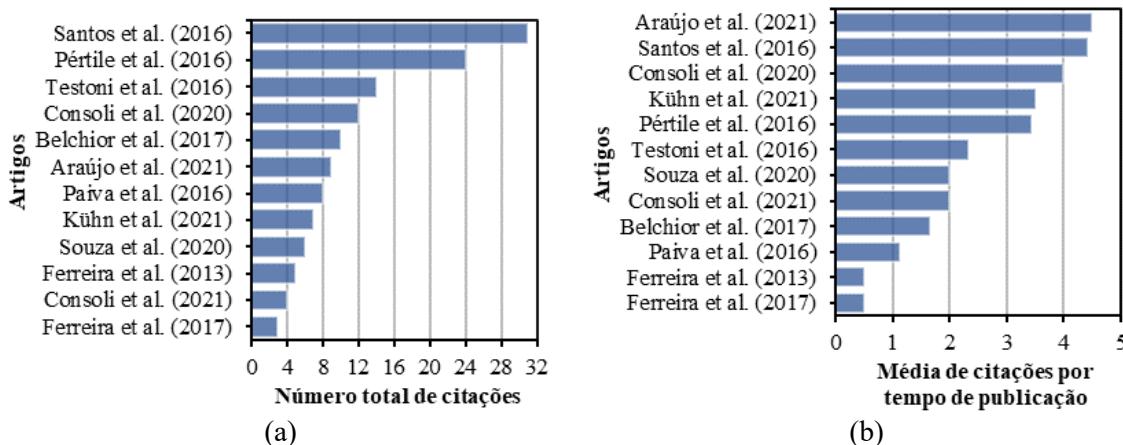
Esses resultados permitem inferir que há pouca colaboração científica entre os grupos de pesquisa brasileiros e instituições estrangeiras. Além disso, observa-se também um nível reduzido de cooperação entre os próprios grupos situados no Brasil. Tal cenário contraria algumas das premissas fundamentais que orientam a formação de grupos de pesquisa, como a troca de conhecimentos entre seus membros e o estabelecimento de parcerias com equipes de outras instituições (Katz & Martins, 1997; Newman, 2004). A ausência dessas interações tende a limitar a criação de redes colaborativas capazes de fortalecer o avanço técnico-científico, impactar positivamente a sociedade e consolidar a chamada “tríplice acadêmica”: ensino, pesquisa e extensão.

De acordo com a Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (2016), o número de citações recebidas por um artigo depende de múltiplos fatores, como relevância temática, periódico onde foi publicado, base de indexação e tempo de circulação. No caso dos artigos analisados, verificou-se que apenas dois — Ribeiro Filho et al. (2022) e Borba et al. (2019) — não haviam sido citados por outros estudos. Os 12 artigos restantes acumularam um total de 133 citações na base Scopus,

sendo que cerca de 52% desse volume se concentra em apenas três publicações (Figura 4a), indicando sua provável importância e impacto na área. Observando-se ainda a média de citações por ano de publicação (Figura 4b), nota-se que os mesmos artigos aparecem nas duas análises, reforçando sua influência e o papel de seus autores no desenvolvimento da temática investigada.

A Figura 5 apresenta os termos mais recorrentes nos títulos, resumos, palavras-chave dos autores e palavras-chave indexadas. Nessa representação visual, quanto maior a frequência de um termo nos documentos, maior sua proporção na figura. Com base na Lei de Zipf, a repetição de palavras em textos permite elaborar listas ordenadas de termos dominantes, que ajudam a identificar a temática central de um conjunto de publicações (Machado Junior et al., 2016).

Figura 4 - Análise das citações dos artigos sobre solos expansivos no contexto do território brasileiro: (a) Número de citações por artigos; (b). Médias de citações por tempo de publicação



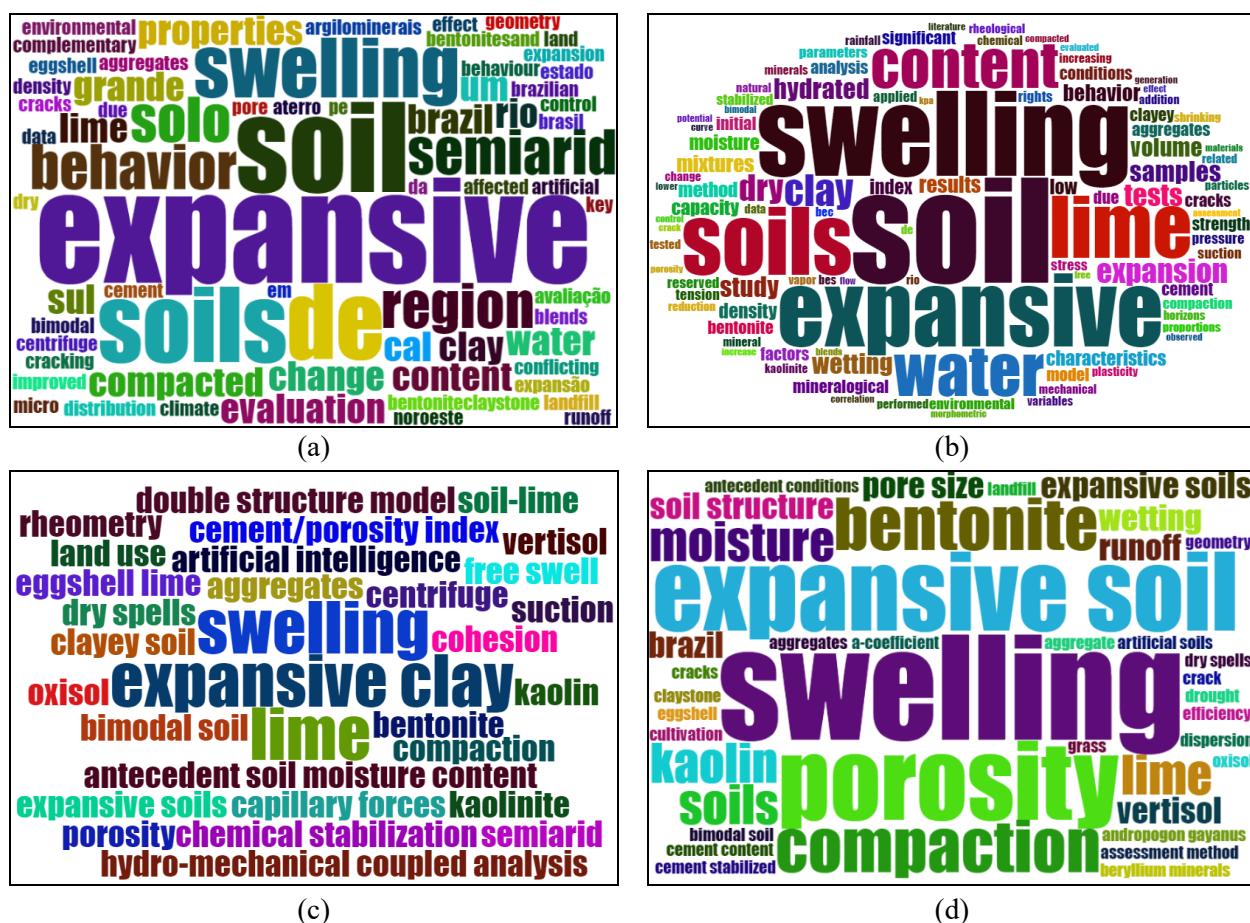
Fonte: Autoria própria.

Como mais de 75% dos trabalhos foram publicados em inglês, o software R Studio (pacote Bibliometrix) identificou poucos termos em português dos artigos de Paiva et al. (2016), Ferreira et al. (2017) e Borba et al. (2019).

As palavras que mais apareceram nos títulos foram expansive (expansivo), soil (solo) e swelling (inchaço). Foi observado também termos em português do artigo de Paiva et al. (2016), Ferreira et al. (2017) e Borba et al. (2019), porém, diferentemente das palavras em inglês, o software R Studio (pacote Bibliometrix) acaba apresentando vocábulos sem significado quando analisados isoladamente, como no caso das preposições “de”, “da” e “em” (Figura 5a). Já no resumo dos artigos, tem-se as expressões com maiores destaques: soil (solo), swelling (inchaço), expansive (expansivo), lime (cal), water (água) e content (teor ou índice) (Figura 5b).

Para a nuvem de palavras elaborada com as palavras-chave dos autores (Figura 5c), destacam-se os termos expansive clay (argila expansiva), swelling (inchaço) e lime (cal). Já os vocábulos mais frequentes nas palavras-chave inseridas pela base de dados foram swelling (inchaço), expansive soil (solo expansivo), porosity (porosidade), bentonite (bentonita) e compaction (compactação) (Figura 5d).

Figura 5 - Nuvem de palavras formadas a partir: (a) dos títulos; (b) dos resumos; (c) das palavras-chave dos autores; (d) das palavras-chave da base de dados, sobre solos expansivos no contexto do território brasileiro.



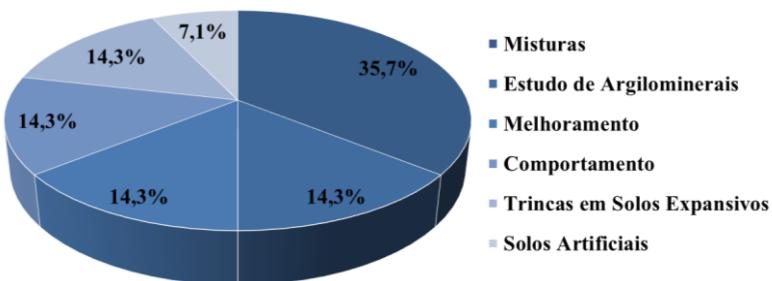
Fonte: Autoria própria.

Desta forma, ao analisar as quatro nuvens de palavras, verifica-se que os termos de maior relevância para os 14 artigos foram expansive (expansivo), soil (solo), swelling (inchaço), expansive soil (solo expansivo) e expansive clay (argila expansiva), o que corrobora a escolha das palavras-chave, soil e expansive, na primeira etapa da primeira fase, Identificação, confirmando também que os termos escolhidos estão associados ao eixo central da pesquisa.

3.2 Revisão sistemática

Por meio da análise dos 14 artigos incluídos nesta pesquisa, foram separados em temáticas, sendo identificadas cinco misturas ($n = 5 / 35,7\%$); estudo de argilominerais ($n = 2 / 14,3\%$); melhoramento ($n = 2 / 14,3\%$); comportamento ($n = 2 / 14,3\%$), trincas em solos expansivos ($n = 2 / 14,3\%$) e solos artificiais ($n = 1 / 7,1\%$) (Figura 6).

Figura 6 - Distribuição por temática dos artigos analisados.



Fonte: Autoria própria.

Foram identificados dois estudos que abordaram a investigação de argilominerais presentes em solos expansivos. Borba et al. (2019) identificou os argilominerais em um solo de aterro sanitário localizado no Rio Grande do Sul. Por meio de ensaios de Difração de Raios-X, os autores observaram a predominância da caulinita no solo estudado. Em uma perspectiva e abordagem similares, Santos et al. (2016) analisaram a mineralogia de latossolos com propriedades de retração em áreas presentes nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Mediante a investigação realizada, os supracitados identificaram a presença de caulinita, caulinita-esmectita interestratificada e esmectitas intercaladas com hidroxi-Al, resultados que apresentaram diferenças em relação à composição de um solo não expansivo utilizado como comparativo. Por meio da abordagem enfatizada pelos dois estudos destacados, evidenciou-se a importância de ambos para a identificação de expansibilidade em solos e os fatores que contribuem para estes mecanismos, assim como a relevância das investigações para a avaliação do suporte do meio ao funcionamento de determinadas atividades.

Considerando a avaliação do comportamento de solos expansivos, verificou-se que os estudos de Pértil et al. (2016) e Ferreira et al. (2013) contribuíram para a identificação de fatores que impactam neste comportamento, considerando condições nas quais esses solos estão submetidos. Pértil et al. (2016) investigaram o efeito da poropressão nos parâmetros reológicos de solos com diferentes composições mineralógicas, físicas e químicas. Ferreira et al. (2013), por sua vez, avaliaram as variações de volume e pressão de expansão causadas por variações no teor de água em solo expansivo. O trabalho de Pértil et al. (2016) permitiu identificar como a utilização de parâmetros reológicos pode ser utilizado para a definição dos efeitos da interação entre partículas e resistência estrutural de solos submetidos a esforços mecânicos, considerado amostras saturadas e submetidas a diferentes poropressões. Além de enfatizar os fatores que contribuem para a expansão e contração do solo, a pesquisa desenvolvida por Ferreira et al. (2013) evidenciou uma formulação hidrodinâmica para representar o comportamento de solos expansivos.

Dentre os estudos avaliados, os trabalhos de Araújo et al. (2021) e Consoli et al. (2021) evidenciaram os efeitos do melhoramento de solo para a estabilização de solos expansivos. Utilizando uma abordagem voltada para a Geotecnia Sustentável, Araújo et al. (2021) buscaram identificar a viabilidade do uso de calcário produzido a partir de resíduos de casca de ovo como ligante de estabilização. Por meio de ensaios de ondulação livre, compressão não confinada e limites de Atterberg, os autores obtiveram resultados que permitiram avaliar a estabilização com cal para o controle de variação volumétrica de solos expansivos e análises comparativas do desempenho mecânico de solos estabilizados com cal hidratada de casca de ovo e cal hidratada industrial. Consoli et al. (2021), por sua vez, analisaram os efeitos do aumento da densidade e do teor de cimento na estabilização de solos expansivos. A utilização de diferentes proporções de bentonita-caulim, teor de cimento, densidade seca e teor de umidade, contribuiu para o desenvolvimento de um experimento que possibilitou a investigação de fatores que têm influência no aumento volumétrico de solos expansivos e, principalmente, a definição de equações para prever a expansão

do solo com base na densidade seca e teor de cimento.

Cinco pesquisas abordaram o efeito de misturas no comportamento de solos expansivos. Os estudos de Consoli et al. (2020), Belchior, Casagrande e Zornberg (2017), Ferreira et al. (2017) e Paiva et al. (2016) objetivaram avaliar os efeitos da mistura solo-cal em solos expansivos e os efeitos desta interação. Já o trabalho de Souza e Pejon (2020) investigou misturas de solos compactadas com bentonita/argilito e bentonita/areia. Os resultados evidenciados nos estudos que investigaram a utilização de cal em solos expansivos permitiram a determinação de fatores que influenciam na expansão de solos e os efeitos da adição de cal para a estabilização em relação à expansão. Os autores ainda apresentaram discussões que contribuíram para a identificação dos fatores que afetam o comportamento de solos com materiais argilosos e os efeitos do controle de sucção nesses materiais com pequenas porcentagens de argilominerais expansivos.

Evidenciando uma abordagem voltada para a produção de solos bimodais com agregados e variabilidade simples, não mineralógica e dupla porosidade controlada, Kühn et al. (2021) analisaram o comportamento microestrutural e volumétrico de solos artificiais bimodais com agregados. Por meio de ensaios de porosidade e microscopia e análises de curva de retenção de água e processo de retração, o estudo supracitado permitiu o desenvolvimento de uma metodologia para a produção de solos com agregados a compreensão dos efeitos dos agregados no comportamento de solos bimodais.

Considerando a importância da investigação de fissuras em solos expansivos, as pesquisas de Ribeiro Filho et al. (2022) e Santos et al. (2016) contribuíram para o entendimento da relação entre os fatores ambientais e a fissuração do solo em solos expansivos. Santos et al. (2016) analisaram os efeitos da umidade do solo e dos veranicos na fissuração, geração de escoamento e produtividade em um solo expansivo em área sujeita a mudanças de terra. Ribeiro Filho et al. (2022), utilizando redes neurais artificiais, estimaram as características de trincas em um vertissolo em condições de campo localizado em uma região semiárida tropical e definiram um modelo para a avaliação das características das rachaduras a partir de fatores ambientais.

4. Conclusão

A revisão sistemática associada à análise bibliométrica demonstrou ser uma abordagem eficiente para compreender o panorama técnico-científico relacionado aos solos expansivos no ambiente brasileiro, além de servir como base para direcionar novos estudos. Essa conclusão se sustenta no reduzido volume de publicações identificadas na base consultada e no período considerado. Apesar disso, observou-se um crescimento progressivo das pesquisas ao longo dos anos, sobretudo a partir de 2020, indicando que o tema tem ganhado destaque e encontra-se em expansão.

Constatou-se que a temática “Solos Expansivos no Contexto do Território Brasileiro” vem sendo abordada, principalmente, por meio de estudos voltados à investigação e caracterização física, química, mineralógica, hidrológica e mecânica desses solos, além da exploração de diferentes técnicas de melhoramento.

Diante desse cenário, torna-se essencial ampliar as pesquisas que busquem compreender o comportamento hidromecânico dos solos expansivos em escalas micro e macro, bem como desenvolver soluções voltadas à redução ou estabilização do potencial de expansividade, contribuindo para avanços significativos na área.

Referências

- Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica. (2016). Recuperado em 27 de outubro de 2022, de <https://www.aguia.usp.br/apoio-pesquisador/indicadores-pesquisa/lista-indicadores-bibliometricos/>.
- Araújo, C. A. A. (2006). Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. *Em Questão*, 12(1), 11–32.

Araújo, M. T., Ferrazzo, S. T., Bruschi, G. J. J. & Consoli, N. C. (2021). Mechanical and Environmental Performance of Eggshell Lime for Expansive Soils Improvement. *Transportation Geotechnics*, 31, 100681. DOI: 10.1016/j.trgeo.2021.100681

Belchior, I. M. R. M., Casagrande, M. D. T. & Zornberg, J. G. (2017). Swelling Behavior Evaluation of a Lime-Treated Expansive Soil through Centrifuge Test. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(12), 04017240. DOI: 10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002090

Borba, W. F., Silva, J. L. S., Kemerich, P. D. C., Fernandes, G. D., Terra, L. G., Lobler, C. A., Trombeta, H. W. & Souza, É. E. B. (2019). Identification of Clay Minerals in a Landfill Soil in the Northwestern Region in the State of Rio Grande do Sul, Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 42(2), 178–183. DOI: 10.11137/2019_2_178_183

Consoli, N. C., Araújo, M. T., Ferrazzo, S. T., Rodrigues, V. L. & Rocha, C. G. (2020). Increasing Density and Cement Content in Expansive Soils Stabilization: Conflicting or Complementary Procedures for Reducing Swelling? *Canadian Geotechnical Journal*. DOI: 10.1139/cgj-2019-0855

Ferreira, S. R. M., Costa, L. M., Guimarães, L. J. N. & Pontes Filho, I. D. S. (2013). Volume Change Behavior due to Water Content Variation in an Expansive Soil from the Semi-arid Region of Pernambuco – Brazil. *Soils and Rocks*, 36(2), 183–193. DOI: 10.28927/sr.362183

Ferreira, S. R. M., Paiva, S. C., Morais, J. J. O. & Viana, R. B. (2018). Avaliação da expansão de um solo do município de Paulista-PE melhorado com cal. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 22(suppl 1). DOI: 10.1590/s1517-707620170005.0266

Galvão, T. F. & Pereira, M. G. (2014). Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. *Epidemiol. Serv. Saude*, 23, 1, 183-184. DOI: 10.5123/S1679-49742014000100018

Katz, J. S. & Martin, B. R. (1997). What is research collaboration? *Research Policy*, 26, 1, 1-18. DOI: 10.1016/S0048-7333(96)00917-1

Kühn, V. O., Lopes, B. C. F. L., Caicedo, B. & Cordão-Neto, M. P. (2021). Micro-structural and volumetric behaviour of bimodal artificial soils with aggregates. *Engineering Geology*, 288, 106139. DOI: 10.1016/j.enggeo.2021.106139

Liu, W., Wang, J., Li, C., Chen, B. & Sun, Y. (2019). Using Bibliometric Analysis to Understand the Recent Progress in Agroecosystem Services Research. *Ecological Economics*, 156, 293-305. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2018.09.001

Machado Junior, C., Souza, M. T. S., Parisotto, I. R. S. & Palmisano, A. (2016). As leis da bibliometria em diferentes bases de dados científicos. *Revista de Ciências e Administração*, 18, 44, 111-123. DOI: 10.5007/2175-8077.2016v18n44p111

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J. & Altman, D. G. (2010). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *International Journal of Surgery*, 8, 5, 336-341. DOI: 10.1016/j.ijsu.2010.02.007

Morais, J. J. O. 2017. Caracterização Geotécnica da Expansividade de um Solo Argiloso do Município de Paulista – PE. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal de Pernambuco – CTG UFPE.

Najmi, A., Rashidi, T. H., Abbasi, A. & Travis Waller, S. (2017). Reviewing the transport domain: an evolutionary bibliometrics and network analysis. *Scientometrics*, 110, 2, 843-865. DOI: 10.1007/s11192-016-2171-3

Newman, M. E. J. (2004). Coauthorship networks and patterns of scientific collaboration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101 (Suppl. 1), 5200-5205. DOI: 10.1073/pnas.0307545100

Paiva, S. C. (2016). Estudo do Comportamento Geométrico dos Solos Expansivos dos Municípios de Cabrobó, Paulista e Ipojuca - PE e de suas Misturas com Cal. *Tese de Doutorado*. Universidade Federal de Pernambuco – CTG UFPE.

Paiva, S. C., Lima, M. A. A., Ferreira, M. G. V. X. & Ferreira, S. R. M. (2016). Propriedades geotécnicas de um solo expansivo tratado com cal. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 21(2), 437-449. DOI: 10.1590/s1517-707620160002.0041

Pantaleão, P. F. & Veiga, H. M. S. (2019). Bem-estar no trabalho: revisão sistemática da literatura nacional na última década. *HOLOS*, 35, 5, 1-24. DOI: 10.15628/holos.2019.7570

Pereira, A. S. et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [free ebook]. Santa Maria. Editora da UFSM.

Pértile, P., Reichert, J. M., Gubiani, P. I., Holthusen, D. & Costa, A. (2016). Rheological Parameters as Affected by Water Tension in Subtropical Soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40. DOI: 10.1590/18069657rbcs20150286

Pluye, P. & Hong, Q. N. (2014). Combining the Power of Stories and the Power of Numbers: Mixed Methods Research and Mixed Studies Reviews. *Annual Review of Public Health*, 35, 1, 29-45. DOI: 10.1146/annurev-publhealth-032013-182440

Ribeiro Filho, J. C., Andrade, E. M., Guerreiro, M. S., Palácio, H. A. Q. & Brasil, J. B. (2022). Climate Data to Predict Geometry of Cracks in Expansive Soils in a Tropical Semi-arid Region. *Sustainability*, 14, 675. DOI: 10.3390/su14020675

Santos, J. C. N., Andrade, E. M., Guerreiro, M. J. S., Medeiros, P. H. A., Palácio, H. A. Q. & Araújo Neto, J. R. (2016). Effect of dry spells and soil cracking on runoff generation in a semi-arid micro watershed under land use change. *Journal of Hydrology*, 541, 1057–1066. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.08.016

Shitsuka, R. et al. (2014). *Matemática fundamental para a tecnologia*. (2ed). Editora Érica.

Silvani, C., Lucena, L. C. F. L., Tenorio, E. A. G., Scheuermann Filho, H. C. & Consoli, N. C. (2020). Key Parameter for Swelling Control of Compacted Expansive Fine-Grained Soil-Lime Blends. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 146(9), 06020012. DOI: 10.1061/(asce)gt.1943-5606.0002335

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*. 104, 333-9. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>.

Souza, R. F. C. & Pejon, O. J. (2020). Pore size distribution and swelling behavior of compacted bentonite/claystone and bentonite/sand mixtures. *Engineering Geology*, 275, 105738. DOI: 10.1016/j.enggeo.2020.105738

Tenório, E. A. G. (2018). Controle da Expansão dos Solos com Resíduos de Mármore e Cal. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

Testoni, S. A., Almeida, J. A., Silva, L. & Andrade, G. R. P. (2017). Clay Mineralogy of Brazilian Oxisols with Shrinkage Properties. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 41. DOI: 10.1590/18069657rbcs20160487

Van Eck, N. J. & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84, 2, 523-538. DOI: 10.1007/s11192-009-0146-3

Van Eck, N. J. & Waltman, L. (2017). Citation-based clustering of publications using CitNetExplorer and VOSviewer. *Scientometrics*, 111, 1053-1070. DOI: 10.1007/s11192-017-2300-7