



Análise da Produção Científica Sobre Solos Problemáticos Reforçados com Fibras Através de Indicadores Bibliométricos

João Paulo Marçal de Souza

Mestrando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, joao.marcal@ufpe.br

Arthur Vinícius Freire Silva Ramos

Mestrando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil,
arthur_vinicios_@hotmail.com

Geovanna Karla da Silva Simões

Mestranda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil,
geovanna.simoes@ufpe.br

Silvio Romero de Melo Ferreira

Professor, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, silvio.mferreira@ufpe.br

Reuber Arrais Freire

Professor, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, reuber.freire@ufpe.br

RESUMO: Este estudo realizou uma análise bibliométrica da produção acadêmica disponível na base de dados Scopus sobre o melhoramento de solos problemáticos com fibras residuais. Para isso, adotou-se uma metodologia estruturada de levantamento bibliográfico, com critérios específicos de busca por palavras-chave e delimitação temporal. Utilizou-se o software VOSviewer para a construção de mapas bibliométricos, possibilitando a identificação de padrões de coocorrência entre palavras-chave, autores, instituições e países, bem como redes de colaboração científica. Os resultados indicam que a temática tem apresentado crescimento recente e contínuo, com destaque para publicações clássicas tanto nacionais quanto internacionais. A análise das palavras-chave revelou uma forte correlação entre os tipos de solos investigados e as técnicas de reforço aplicadas, sinalizando o foco das pesquisas. Os mapas visuais gerados permitiram compreender a estrutura, as tendências e as lacunas existentes na produção científica global sobre o tema, evidenciando o potencial de expansão e a oportunidade para o desenvolvimento de novas abordagens metodológicas voltadas ao reforço de solos problemáticos.

PALAVRAS-CHAVE: Mapeamento Cienciométrico, Solos Não Saturados, Melhoramento de Solos, Materiais Inovadores.

ABSTRACT: This study conducted a bibliometric analysis of academic literature available in the Scopus database on the improvement of problematic soils using residual fibers. A structured bibliographic review was carried out, with specific search criteria based on keywords and a defined time frame. The VOSviewer software was employed to construct bibliometric maps, enabling the identification of co-occurrence patterns among keywords, authors, institutions and countries, as well as networks of scientific collaboration. The results indicate that research in this field has shown recent and continuous growth, with notable classic publications at both national and international levels. The analysis of keywords revealed a strong correlation between the types of soils studied and the reinforcement techniques applied, highlighting the main focus of the investigations. The visual maps generated provided insights into the structure, trends, and existing gaps in the global scientific literature on the topic, demonstrating its expansion potential and the opportunity for developing new methodological approaches aimed at strengthening problematic soils.

KEYWORDS: Scientometric Mapping, Unsaturated Soils, Soil Improvement, Innovative Materials.



1 INTRODUÇÃO

A industrialização e a urbanização, especialmente em países em desenvolvimento como o Brasil, intensificaram a produção industrial e, consequentemente, a geração de resíduos, trazendo desafios ambientais e urbanos significativos (Sivirino; Linke, 2021). O modelo de economia linear, baseado na lógica extrair-produzir-descartar, tem se mostrado insustentável, promovendo o esgotamento de recursos naturais e a intensificação da poluição, agravando a tripla crise planetária: mudanças climáticas, perda de biodiversidade e poluição (Jucá *et al.*, 2014; Soler, 2024).

A gestão inadequada de resíduos sólidos, somada à falta de políticas públicas eficazes, contribui para o acúmulo de rejeitos, contaminação ambiental e aumento das emissões poluentes, sobretudo em países em desenvolvimento (Szigethy, 2021). Dados do *United Nations Environmental Programme* (UNEP) (2024) indicam que a geração mundial de resíduos sólidos deve ultrapassar 3,7 bilhões de toneladas até 2050, enquanto no Brasil, estima-se que ultrapasse 100 milhões de toneladas por ano até 2030 (ABRELPE, 2022).

Nesse cenário, destaca-se o reaproveitamento de materiais fibrosos como alternativa sustentável e alinhada à economia circular, ao reduzir o volume de resíduos e agregar valor a materiais descartados (Menezes *et al.*, 2019). Paralelamente, a expansão urbana expõe solos com características geotécnicas desfavoráveis, exigindo soluções técnicas eficazes para garantir estabilidade e segurança (Ferreira; Araújo; Santos, 2023).

A engenharia geotécnica tem investigado o uso de fibras como reforço em solos problemáticos, evidenciando melhorias como aumento da resistência mecânica, maior capacidade de carga e redução da deformação (Silva; Lafayette, 2024). Assim, este estudo busca analisar a produção científica relacionada ao uso de fibras na melhoria de solos, por meio de indicadores bibliométricos, promovendo soluções sustentáveis e inovadoras para a construção civil.

2 METODOLOGIA

A metodologia deste estudo é de natureza descritiva, com abordagem quantitativa, fundamentada no uso de indicadores bibliométricos para mensurar a produção científica sobre o uso de fibras na geotecnica. Foram consideradas três etapas principais: (i) Estudo bibliográfico, com a coleta e seleção de publicações relevantes; (ii) Aplicação de técnicas avaliativas, que examinou o impacto e a relevância dos estudos por meio de métricas de citação; e (iii) Aplicação de técnicas relacionais, voltada à identificação de conexões entre autores, temas e instituições. Esse processo sistemático está representado na Figura 1, que ilustra o encadeamento metodológico e assegura o rigor na condução da pesquisa.

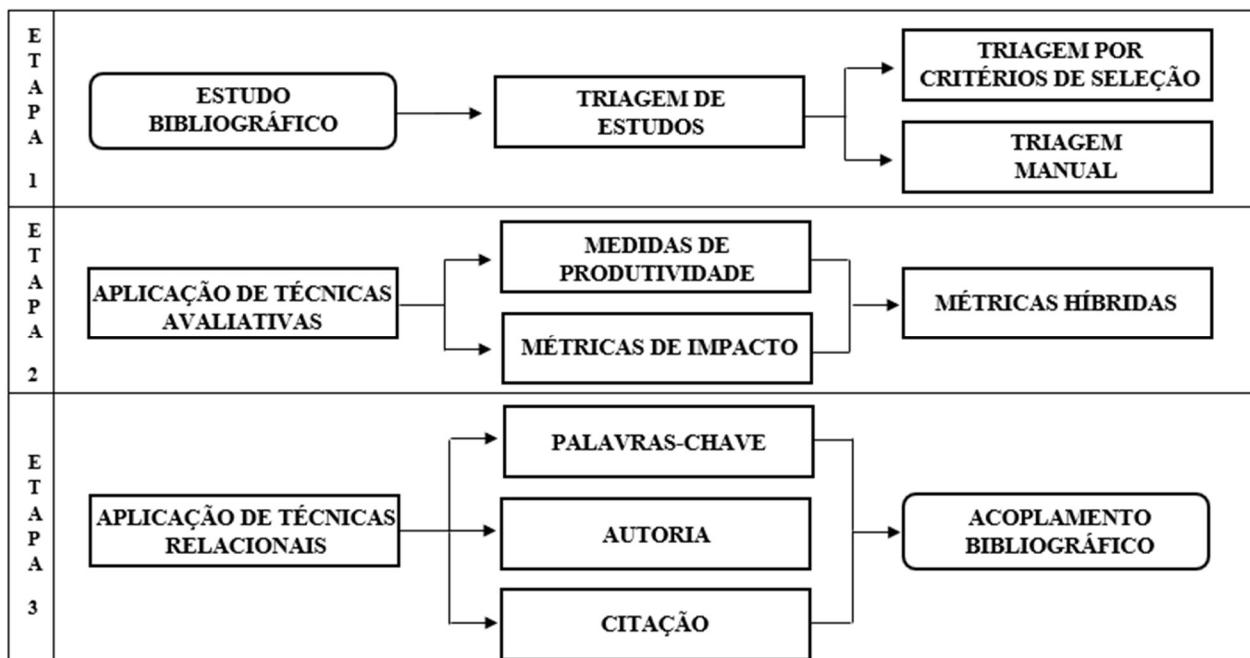


Figura 1. Programa metodológico do estudo.



2.1 Estudo bibliográfico

A primeira etapa consistiu na pesquisa bibliográfica na base de dados Scopus, sem restrição temporal, visando mapear a produção acadêmica sobre o uso de fibras no melhoramento de misturas de solo. A busca foi realizada por meio de descritores e operadores booleanos, utilizando a seguinte string de busca: "reinforced soil" AND "soil improvement" AND fiber OR "geomechanical behavior" OR "physical-mechanical behavior" OR "alternative materials" OR "traction" OR "compression", o que resultou inicialmente em 48 documentos. Aplicaram-se critérios de inclusão referentes ao idioma (inglês e português), área temática (Engenharia Civil, Materiais, Ambiental) e tipo de publicação (artigos em periódicos e anais de eventos). Após leitura na íntegra, 30 estudos foram selecionados por estarem alinhados ao escopo do estudo.

2.2 Aplicação de técnicas avaliativas

Foram aplicadas métricas de produtividade, impacto e métricas híbridas para avaliar a produção científica, considerando volume de publicações, citações totais e colaborações entre autores (Quevedo-Silva *et al.*, 2016). Utilizando o mapeamento bibliométrico, os tópicos foram organizados em um gráfico bidimensional, no qual o tamanho dos agrupamentos indica a quantidade de artigos e a distância entre eles reflete suas conexões por citações.

2.3 Aplicação de técnicas relacionais

A bibliometria, conforme Quevedo-Silva *et al.* (2016), permite mapear e quantificar características dos documentos e suas inter-relações. Neste estudo, os dados coletados na base Scopus foram organizados no Excel e analisados no VOSviewer, com foco nas redes de co-citação, co-autoria e co-ocorrência de palavras-chave entre os estudos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do programa metodológico, foram identificadas 30 publicações relacionadas ao reaproveitamento de materiais fibrosos na geotecnia, sendo cerca de 83% artigos originais publicados em periódicos com revisão por pares e 17% provenientes de eventos acadêmicos. Não foram incluídos capítulos de livro, revisões ou artigos em acesso antecipado, conforme os critérios definidos. A Figura 2 apresenta a distribuição desses estudos por área de pesquisa, destacando maior concentração nas áreas de Ciências da Terra, Ambiental e Engenharia Civil.

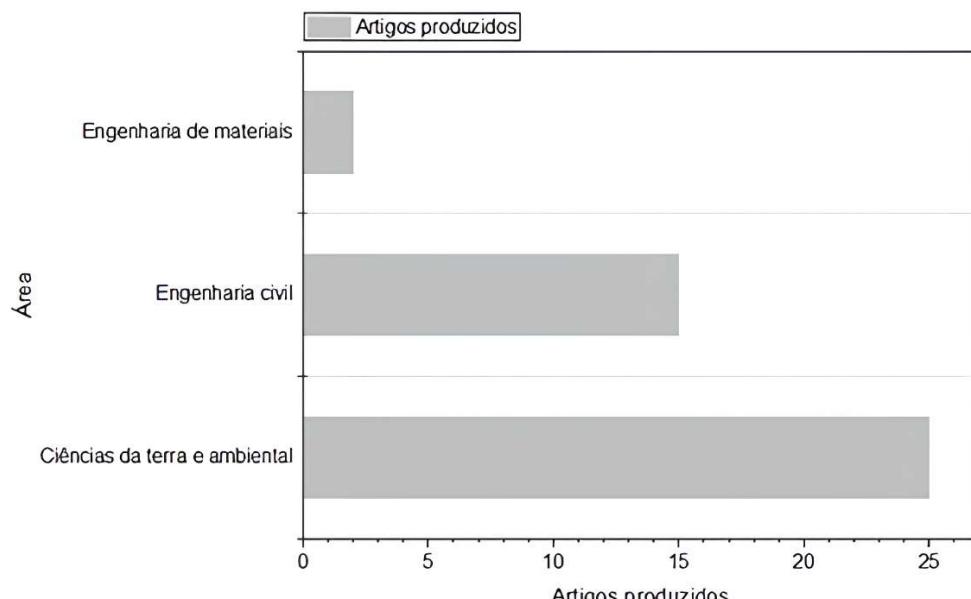


Figura 2. Quantidade de artigos publicados na base de dados Scopus segundo a área de pesquisa.



Observou-se que as principais áreas de pesquisa são das Ciências da Terra, Ambientais e Engenharia Civil, porém nota-se que existe uma diversidade dentro das áreas de pesquisa que abordam o tema, justificado inclusive pela cooperação entre os autores e áreas de estudo. Cabe destacar que alguns materiais acadêmicos eram intrínsecos a mais de uma área acadêmica, estes por sua vez estão localizados em ambas as áreas.

3.1 Análise da evolução temporal dos estudos

O número de publicações reflete as tendências do tema pesquisado. Sobre o uso de fibras na geotecnia, a produção na base Scopus iniciou no fim dos anos 1990 com apenas um estudo, mantendo-se baixa até o final dos anos 2000, somando apenas seis publicações no período (Figura 3).

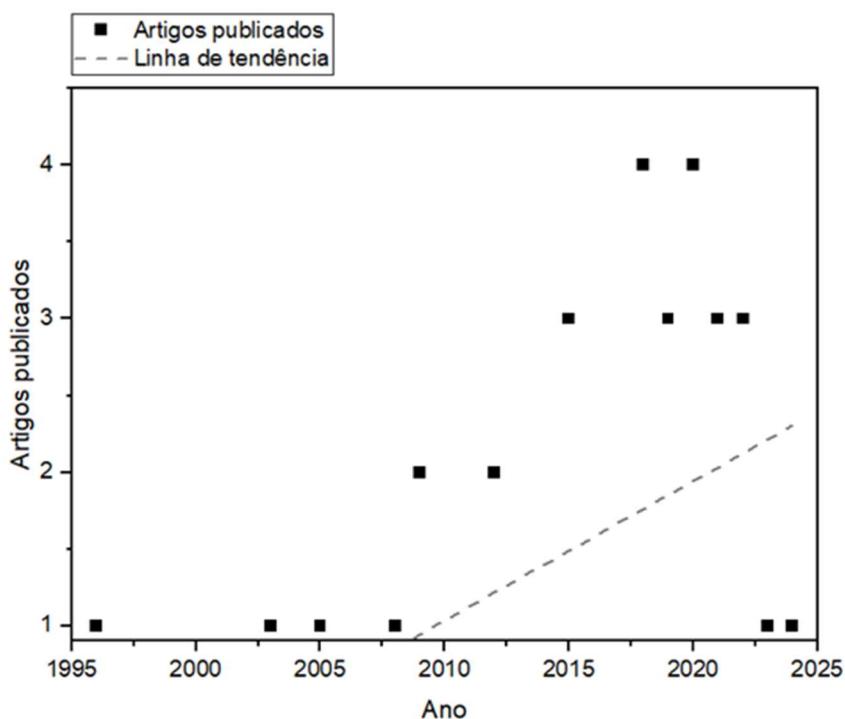


Figura 3. Número de publicações

A Figura 3 mostra que o interesse pelo uso de fibras na geotecnia cresceu significativamente após 2010, quando o número de publicações igualou o total da década anterior. Os anos de 2018 e 2020 se destacaram com quatro estudos cada, volume que antes levou quase uma década para ser alcançado. Ao fim dos anos 2010, cerca de 80% dos estudos analisados haviam sido publicados, quase quadruplicando os números da década de 2000. Embora 2019 e 2021 tenham apresentado quedas pontuais, essas oscilações são comuns em análises bibliométricas, que, segundo Porter e Wook (2022), representam tendências variáveis e não exatas. De modo geral, o período entre 1996 e 2024 revela uma evolução gradual, com crescimento constante do interesse pelo tema e potencial para avanços científicos voltados à aplicação sustentável de fibras em solos problemáticos.

3.2 Rede de trabalhos: a colaboração entre autores

Segundo Rolim e Moura (2018), a colaboração científica ocorre de forma quase natural, envolvendo a troca de conhecimentos, experiências e recursos entre pesquisadores e instituições, embora ainda predomine uma dinâmica unidirecional em que países desenvolvidos lideram a transferência de tecnologia para nações em desenvolvimento. No presente estudo, identificaram-se 109 autores envolvidos na temática, mas apenas 11 se destacaram nos clusters gerados pelo VOSviewer, considerando volume de publicações e impacto em citações.

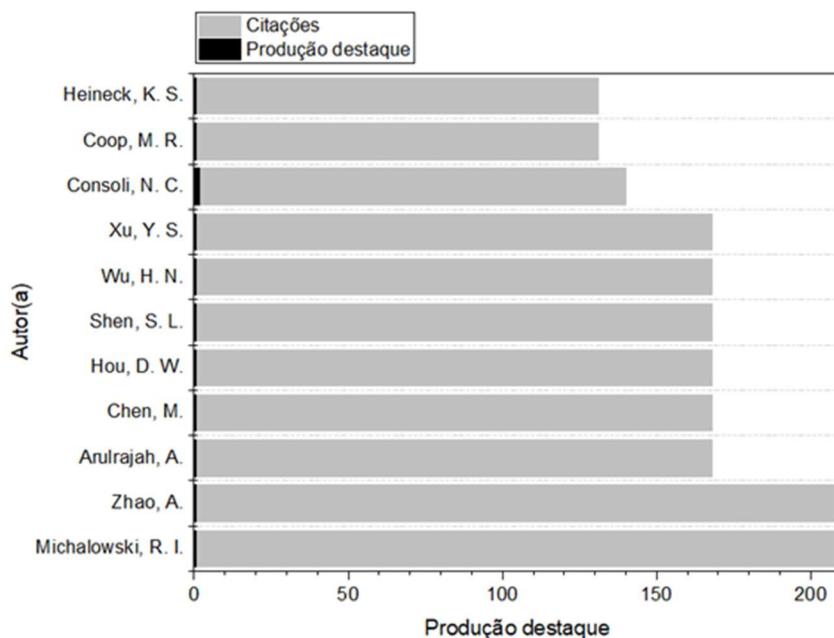


Figura 4. Número de publicações por autor

A Figura 4 mostra esses autores mais produtivos na pesquisa sobre fibras aplicadas em misturas de solo, evidenciando polos de colaboração científica. Observa-se que, embora o número de publicações seja reduzido, o impacto em citações apresenta maior relevância, reforçando a influência de poucos pesquisadores sobre a área. A análise de coautoria revelou 29 grupos isolados, com colaborações restritas a instituições específicas e pouca integração ampla entre universidades, conforme também destacado por Rivera-Vélez et al. (2023).

3.3 Cooperação geográfica e institucional

Com base nos 30 estudos analisados, observou-se a participação de instituições de 10 países (Figura 5), com destaque para regiões com solos problemáticos, como áreas áridas, costeiras e planícies aluviais. Esses locais, ricos em argilas com montmorilonita, concentram-se em países como Brasil, Índia, EUA e China, conforme apontam Rodrigues e Lollo (2008), Ferreira e Fucale (2014) e Vilar e Ferreira (2015).



Figura 5. Destaque de publicações por países.



2025

BENTO GONÇALVES - RS

Cinco instituições se destacam em citações, incluindo Johns Hopkins University e UFRGS, refletindo o crescimento das colaborações internas e o interesse pelo uso de fibras em solos. Embora solos colapsáveis sejam mais comuns em regiões quentes, sua ocorrência em climas variados, como no Rio Grande do Sul (Rodrigues; Lollo, 2008), indica que fatores ambientais não são determinantes. A colaboração científica, limitada em países como Irã e Turquia na década de 2010, tem se expandido em Brasil e Índia, com redes globais crescentes entre países como Brasil-EUA e China-Austrália, conforme ilustrado na Figura 6.

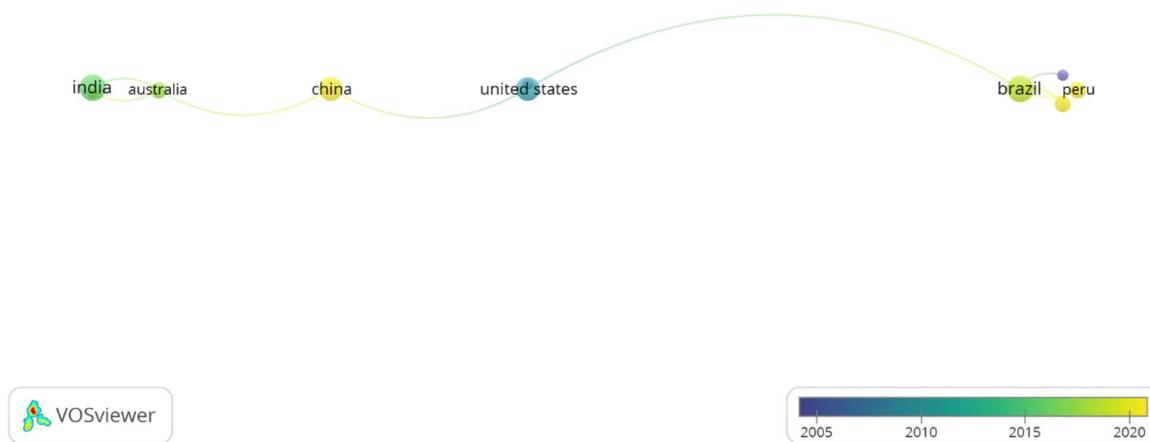


Figura 6. Principais colaborações entre países.

Em síntese, observa-se um avanço contínuo das colaborações científicas, especialmente na América do Sul, impulsionado por investimentos em pesquisa e maior integração regional, como mostra a Figura 6.

3.4 Dinâmicas de frequência de palavras: Perspectivas sobre evolução temática

A partir da análise da frequência das palavras-chave nos artigos, foi gerada uma nuvem de palavras com os termos mais recorrentes (Figura 7). Os temas predominantes se organizam em dois grupos principais: estudos com fibras poliméricas de borracha (cluster vermelho) e estudos com fibras plásticas, especialmente polipropileno (cluster verde).

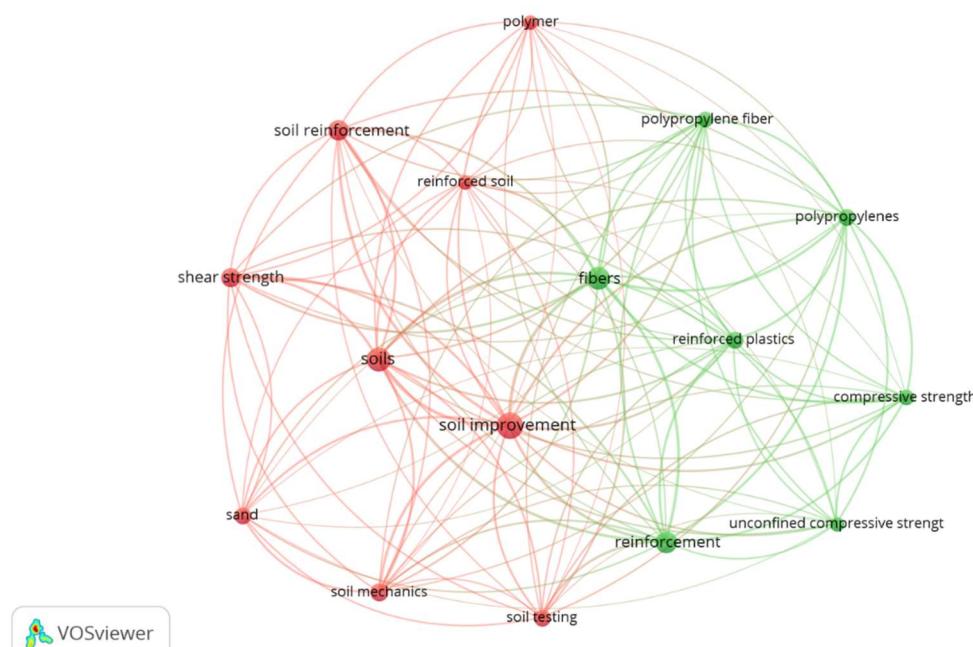


Figura 7. Rede de palavras-chave.



A análise das palavras-chave (Figura 7) destaca foco em solo reforçado com polímeros, fibras plásticas e polipropileno, com ênfase na resistência mecânica. Os agrupamentos indicam duas linhas principais: fibras de borracha (cluster vermelho), voltadas à sustentabilidade e cisalhamento, e fibras plásticas (cluster verde), focadas em tração e compressão. Até 2010, predominavam estudos com fibras naturais; depois, houve avanço nas sintéticas, explorando forma, tamanho e proporção. Conforme a Figura 8, fibras plásticas mostram eficácia na capacidade de carga, redução de recalques e controle de fissuras, consolidando-se na engenharia geotécnica.

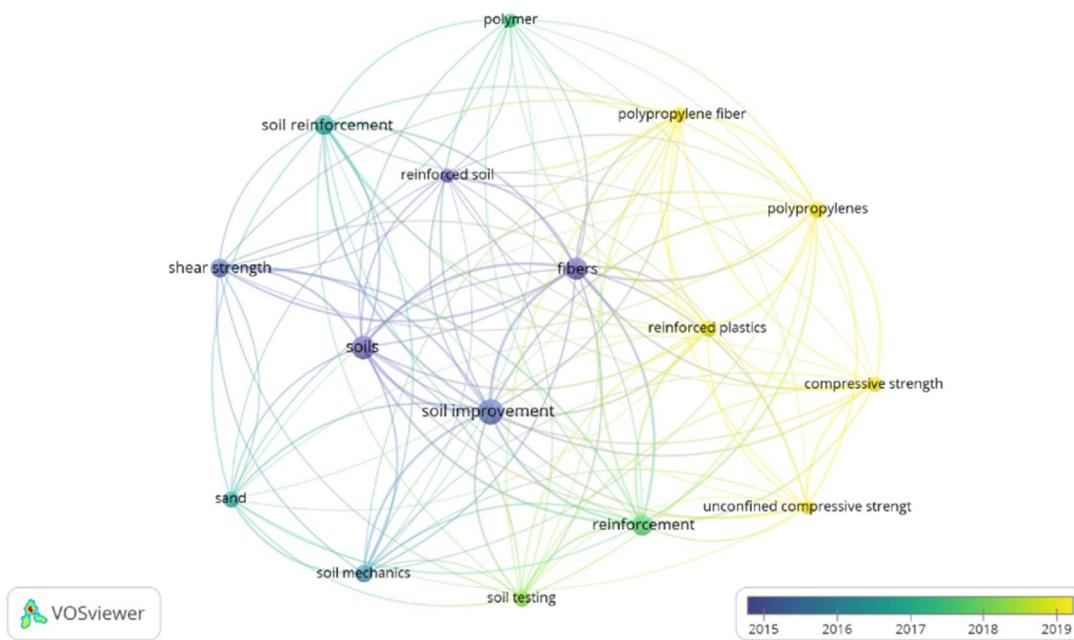


Figura 8. Análise temática por ano.

Dessa forma, os solos reforçados com fibras poliméricas, especialmente plásticas como o polipropileno, vêm ganhando destaque por melhorarem a resistência ao cisalhamento e à compressão. Como mostrado na Figura 8, os estudos evoluíram de reforços naturais para abordagens mais avançadas, analisando variáveis como tamanho, forma e proporção das fibras. Os resultados recentes confirmam a eficácia dessas técnicas na melhoria da capacidade de carga, redução de recalques e controle de fissuras, consolidando seu potencial para aplicações práticas na engenharia geotécnica.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou a produção científica relacionada ao uso de resíduos de fibras em misturas de solo, com base em uma abordagem bibliométrica. A evolução temporal das publicações revelou um crescimento constante desde o final dos anos 1990, com aumento mais expressivo a partir de 2010. Esse avanço sinaliza o crescente interesse no reforço de solos problemáticos com fibras, destacando-se como um campo promissor para soluções inovadoras e sustentáveis.

A colaboração entre autores demonstrou redes ainda centradas em instituições locais, com baixa cooperação interinstitucional e internacional. No entanto, observa-se o fortalecimento de parcerias globais, especialmente em países como Brasil, Índia, EUA e China. As publicações concentram-se em 10 países, com destaque para instituições como Johns Hopkins University e UFRGS, que vêm contribuindo significativamente para o avanço da área.

Além disso, a análise de palavras-chave evidenciou o foco em fibras poliméricas e plásticas, como polipropileno, voltadas à melhoria das propriedades mecânicas dos solos, com ênfase na resistência ao cisalhamento e compressão. A sustentabilidade e o custo-benefício dessas soluções são temas centrais, indicando que futuras pesquisas devem ampliar colaborações e explorar novas alternativas sustentáveis para a engenharia geotécnica.



AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio e incentivo à pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2022). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil - 2022*. São Paulo. Disponível em: <<https://iberbrasil.org.br/blog/2022/12/06/panorama-dos-residuos-solidos-no-brasil-2022/>>. Acesso em: 10 jun. 2025.

Ferreira, S.R.M., Araújo, A.G.D., Santos, M.M.B. (2023) Cracking process in expansive soil with and without vegetation covers in dry and rainy seasons at field scale. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 47 (1), p.1-21.

Ferreira, S.R.M., Fucale, S.P. (2014) Evaluation of the collapsibility of soils in the semiarid region of Pernambuco, Brazil. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 8 (10), p.1285-1292.

Jucá, J.F.T. et al. (2014) *Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão*. Grupo de Resíduos Sólidos, Jaboatão dos Guararapes, PE, Brasil, 188 p.

Menezes, L.C.P. et al. (2019) Analysis of the Physical-Mechanical Behavior of Clayey Sand Soil Improved with Coir Fiber. *Soils and Rocks*, 42 (1), p.31-42.

Porter, S.J., Wook, D.W. (2022) Connecting Scientometrics: Dimensions as a route to broadening context for analyses. *Computer Science*, 20 (1), p.87–108.

Quevedo-Silva, F. et al. (2016) Estudo bibliométrico: orientações sobre sua aplicação. *Revista Brasileira de Marketing*, 15 (2), p.246-262.

Rodrigues, R.A., Lollo, J.A. (2008) Características dos solos colapsíveis. In: Lollo, J.A. (Org.), *Solos colapsíveis: identificação, comportamento, impactos, riscos e soluções tecnológicas*, Cultura Acadêmica, São Paulo, SP, Brasil, 260 p.

Rolim, L.J., Moura, V.B. (2018) *Análise cienciométrica sobre pavimentos de concreto*. Trabalho de conclusão de curso, Graduação em Engenharia Civil, UniEvangélica, 61 p.

Silva, R.G.P., Lafayette, K.P.V. (2024) Utilização de resíduos da construção civil e fibras como tecnologias alternativas de tratamento de solos, visando materiais mais sustentáveis para áreas de risco uma revisão sistemática da literatura. *Revista de Geociências do Nordeste*, 10 (2), p.188–205.

Sivirino, K.J., Linke, P.P. (2021) Sustentabilidade e urbanização: habitações sustentáveis. In: Congresso Nacional de Meio Ambiente – CNMA 18., Poços de Caldas. *Anais...* CNMA. v. 18, p. 1-12.

Soler, F.D. (2024) Resíduos sólidos no contexto da economia circular. Editora dos Autores, São Paulo, SP, Brasil, 132 p.

Szigethy, L. (2021) *Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos*. Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade, Ipea, Série Estudos e Análises, n.º 217, Brasília, 60 p.

United Nations Environmental Programme. (2024) *Global Waste Management Outlook 2024: Beyond an age of waste – Turning rubbish into resource*. UNEP, Nairobi, 116 p.

Vilar, O.M., Ferreira, S.R.M. (2015) Solos Colapsíveis e expansivos. In: Carvalho, J.C. et al. (Org.). *Solos Não Saturados no Contexto Geotécnico*. Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, São Paulo, SP, Brasil, 795 p.