

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/129

Dimensionamento de Estruturas de Contenção Ancoradas e Capacidade de Carga dos Tirantes: Uma Revisão de Artigos Publicados entre 2012-2022

Thays Car Feliciano de Oliveira

Eng.^a Civil Mestre em Engenharia Geotécnica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, thayscarf@gmail.com

Thiago Bomjardim Porto

Docente Doutor em Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, thiagoportoeng@gmail.com

RESUMO: Verificam-se na literatura oportunidades para pesquisas envolvendo contenções atirantadas e o estudo específico dos tirantes, no entanto pouco exploradas e difundidas no Brasil. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi a realização de uma revisão sistemática da literatura considerando um período de 10 anos (entre 2012 e 2022), por meio de uma adaptação do método ProKnow-C, para obtenção de uma visão mais crítica e abrangente do assunto, bem como identificação de lacunas. O procedimento de revisão sistemática foi realizado em três etapas principais: (1) seleção dos artigos mais relevantes sobre a temática, que constituirão o denominado portfólio; (2) análise bibliométrica; e, (3) análise sistêmica do referido portfólio. Ao todo, após a busca foram selecionados treze artigos de maior relevância. As análises bibliométricas indicaram que os periódicos mais relevantes para a linha de pesquisa em contenções ancoradas são o *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering and Computers and Geotechnics*. Ademais, verificou-se destaque para os trabalhos de origem do continente asiático. Quanto aos temas pesquisados, observou-se técnicas de dimensionamento promissoras para as contenções como a análise inversa, o uso de rotinas computacionais associadas a métodos numéricos para otimização de projetos e a aplicação de inteligência artificial. Na linha de capacidade de carga de tirantes, observou-se uma tendência para a aplicação de funções de transferência de carga. Ao longo da investigação, verificou-se uma linha de pesquisa promissora para futuros trabalhos, relacionada com as perdas das forças de protensão em tirantes ao longo do tempo, principalmente associadas ao fenômeno de corrosão. O método utilizado mostrou-se uma ferramenta valiosa para estruturação de pesquisas científicas.

PALAVRAS-CHAVE: Cortinas Atirantadas, Revisão Sistemática, Projetos, Estruturas de Contenção.

ABSTRACT: Research opportunities involving anchored retaining structures and, specifically, grouted anchors are identified through literature, however they are little explored and widespread in Brazil. Therefore, this work aimed a systematic review of the literature considering a period of 10 years (2012 – 2022), through an adaptation of ProKnow-C method, in order to obtain a critical and comprehensive view of the subject, as well as to identify gaps. The systematic review procedure was carried out in three main stages: (1) selection of the most relevant articles on the topic, which will constitute the so-called portfolio; (2) bibliometric analysis and (3) systemic analysis of the aforementioned portfolio. In total, after the search, thirteen most relevant articles were selected. Bibliometric analyzes indicated that the most relevant journals for the anchored retaining structures area are the *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering and Computers and Geotechnics*. Furthermore, there was emphasis on works originating from the Asian continent. Regarding the research topics, promising design techniques for anchored retaining walls were observed, such as reverse analysis, the use of computational routines associated with numerical methods for optimization and artificial intelligence. Concerning pullout capacity of grouted anchors, a tendency towards load transfer functions was observed. Throughout the research, a promising research area was identified, related to anchors prestress loss over time, mainly associated with the corrosion phenomenon. The method used proved to be a valuable tool for structuring scientific research.

KEYWORDS: Tieback walls, Systematic Review, Designs, Retaining Structures.

1 INTRODUÇÃO

O uso de tirantes (ancoragens ativas) em obras de contenção é crescente, tanto para fins permanentes, em estabilização de encostas e taludes rodoviários, como para fins provisórios, nas escavações de solos urbanos (DIAS et al., 2021; SHEN et al., 2021). Apesar disso, o acervo bibliográfico nacional carece de maiores pesquisas acerca do comportamento das estruturas atirantadas, classificadas como estruturas flexíveis, pois seu comportamento é de difícil previsão (GERSCOVICH et al., 2016).

Ademais, outro aspecto que pode ser mais explorado se trata da capacidade de carga dos tirantes, pois a técnica executiva evoluiu significativamente desde sua origem, no entanto houve pouco avanço nas metodologias de cálculo de capacidade de carga (LIU et al., 2017). Ainda, no contexto nacional o tema da capacidade de carga de tirantes é relevante, visto que o Brasil se trata de um país amplo e, conseqüentemente, com expressiva variabilidade geológico-geotécnica. Portanto para diferentes contextos geológicos, podem haver diferenças no método mais adequado.

Uma possibilidade para estudos preliminares e definição de lacunas de pesquisa na área de contenções atirantadas são as revisões sistemáticas da literatura, que vem se difundindo nos últimos anos. Tais procedimentos auxiliam na identificação de estudos pertinentes para o problema em questão e avaliação da qualidade, validade e aplicabilidade dos estudos identificados (AZEVEDO, 2013; AZEVEDO e ENSSLIN, 2020). Este tipo de revisão trata-se de um processo de pesquisa secundário, porém de grande valia para obtenção de uma visão mais crítica e abrangente do assunto, ou para identificação mais assertiva de lacunas de pesquisa. Cita-se como exemplo o trabalho de Gomes et al. (2019) que realizaram pesquisa na área de concretos com agregados reciclados.

Desta forma, este trabalho teve o objetivo de realizar uma revisão da literatura sistemática na linha de contenções atirantadas, para compreensão mais completa do tema e possíveis lacunas ou novidades ainda pouco exploradas no Brasil. Utilizou-se uma adaptação do método ProKnow-C (*Knowledge Development Process – Constructivist*), método desenvolvido no Laboratório de Metodologias Multicritérios em Apoio à Decisão (LabMCDA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) (AFONSO et al., 2011).

2 METODOLOGIA

A revisão sistemática foi realizada em três etapas principais, sendo elas: (1) seleção do portfólio bibliográfico, (2) análise bibliométrica, e (3) análise sistêmica, a serem detalhados nos itens subsequentes. Detalhes quanto ao método ProKnow-C podem ser consultados em Afonso et al. (2011) e Azevedo e Ensslin (2020).

2.1 Seleção do portfólio bibliográfico

Para a seleção do portfólio bibliográfico foram realizados uma série de procedimentos até a seleção final. Os trabalhos integrantes do portfólio final consistem dos artigos mais relevantes sobre o tema, selecionados após diversas etapas de filtros (AFONSO et al., 2011), que serão detalhados nos itens 2.1.1 a 2.1.6.

2.1.1 Eixos

A pesquisa está direcionada para o estudo de estruturas de contenção atirantadas, com as duas linhas principais de (i) estudo da capacidade de carga de tirantes e (ii) dimensionamento das estruturas.

Desta forma, foram definidos três eixos de pesquisa: **(eixo 1)** temática geral de cortinas atirantadas; **(eixo 2)** capacidade de carga de tirantes em solo; **(eixo 3)** análises numéricas para dimensionamento de contenções atirantadas.

2.1.2 Cronologia

Para cronologia da pesquisa definiu-se como corte temporal o período dos últimos dez anos (considerando a data de realização da investigação), ou seja, 2012 a 2022, com base em sugestão de Azevedo (2013) para utilização de um período que corresponda à maior meia vida de periódicos associados ao tema.

A meia vida corresponde ao tempo a partir da publicação de um artigo que compreende mais de 50% de todas as suas citações. Consultou-se um relatório de citações por periódicos (JCR, 2011) e identificou-se que os maiores períodos de meia vida de periódicos da engenharia civil e geociências corresponde a 10 anos.

2.1.3 Bases de dados

Para definição das bases de dados consultou-se a lista de bases do portal de periódicos da CAPES e foram selecionadas as bases mais relevantes comuns às áreas de engenharia civil e geociências, sendo elas:

- Science direct (Elsevier)
- ASCE
- Scopus (Elsevier)
- SpringerLink
- GeoScience World (GeoRef)
- Compendex
- Maney Publishing (Taylor & Francis)
- Web of Science (Clarivate Analytics)
- Wiley Online Library
- EBSCOhost

A última citada (EBSCOhost) foi incorporada pois contém o periódico *Canadian Geotechnical Journal*, relevante para pesquisas na área de geotecnia.

2.1.4 Palavras-chave

As palavras-chave são definidas a partir dos eixos de pesquisa mencionados anteriormente e são listadas em inglês, para abranger maior quantidade de artigos. A definição preliminar de palavras para esta pesquisa é elencada no Quadro 1. Esta etapa é de suma importância, pois os resultados estarão diretamente vinculados a ela.

Quadro 1: Possibilidades de palavras-chave por eixo de pesquisa.

Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3
Embedded wall; Sheet pile wall; Retaining structure; Ground anchor; Temporary anchor; Excavation; Anchored wall system; Anchored sheet pile; Earth pressure	Test field; Fixed length; Pullout capacity; Bearing capacity; Temporary anchor; Extrapolation; Semiempirical method; Load test; Theoretical method	Finite element method; Numerical simulation; Numerical analysis; Soil model; Soil Structure interaction; Deformation; Boundary element method

2.1.5 Investigação preliminar

Após as definições listadas nos itens 2.1.1 a 2.1.4 realizou-se uma investigação preliminar nas bases de dados para verificar a adequação das palavras-chave e definir os operadores booleanos (Quadro 2).

Quadro 2: Palavras-chave e operadores booleanos utilizados para extração dos artigos.

Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3
(embedded wall OR sheet pile wall OR retaining structure OR anchored wall system OR anchored sheet pile) AND (ground anchor OR temporary anchor) AND (excavation OR earth pressure)	(anchored wall OR anchored sheet pile wall) AND (Ground anchor OR temporary anchor) AND (fixed length OR pull-out capacity) AND (test field OR grout interface)	(anchored wall OR ground anchor) AND (numerical simulation OR numerical analysis) AND (finite element method OR FEM)

Nesta etapa também foram definidos filtros de pesquisa. Somente foram extraídos artigos de periódicos; outros tipos de documentos como capítulos de livros, enciclopédias, editoriais, resumos de congressos foram desconsiderados. Também restringiu-se a busca para as áreas de engenharia, geociências, ambiente, materiais, matemática e computação.

Na sequência, as bases de dados previamente listadas foram validadas. Selecionou-se as bases que representassem 80% do total de artigos obtidos em uma investigação preliminar (Tabela 1).

Na Tabela 1 observa-se as bases selecionadas para extração dos artigos (em cinza), a Science Direct, ASCE e SpringerLink correspondiam a mais de 80% dos artigos. Optou-se por incorporar a Compendex e a EBSCOhost pois ambas contêm periódicos de impacto para a área de geotecnia.

2.1.6 Seleção efetiva dos artigos

Para extração e seleção dos artigos utilizou-se a ferramenta computacional Mendeley® como apoio para organização do processo. O procedimento para extração dos artigos foi realizado em sete etapas, resumidas na Tabela 2, em conjunto com as quantidades de artigos após cada etapa.

Tabela 1: Possibilidades de palavras-chave por eixo de pesquisa.

Base	Eixos			Total
	1	2	3	
Science Direct	2186	2266	4699	9151
ASCE	141	35	1517	1693
Scopus	23	0	28	51
SpringerLink	137	120	2438	2695
GeoRef	22	9	209	240
Compendex	60	1	91	152
Web of Science	59	0	79	138
Wiley	14	8	98	120
EBSCOhost	30	49	40	119
Selecionadas				13810

Tabela 2: Resumo das etapas e quantidades respectivas de artigos em cada etapa de seleção do portfólio.

Etapa	Quantidade
1 Extração dos artigos	13810
2 Remoção de duplicatas	11324
3 Seleção por alinhamento de título	473
4 Seleção por reconhecimento científico	148
5 Seleção por alinhamento de resumo	70
6 Reincorporação de artigos recentes (publicados desde 2020)	109
7 Seleção por leitura na íntegra	13

Quanto ao processo de extração e seleção de artigos, pontuam-se alguns detalhes:

- (a) A ocorrência de artigos duplicados ocorre, pois, um mesmo artigo pode ser resultado para diferentes eixos, ou constar em mais de uma das bases de dados;
- (b) O reconhecimento científico foi definido a partir do número de citações de cada artigo, dado obtido do Google Scholar[®], também utilizou-se limite de corte de 80%;
- (c) A reincorporação de artigos dos últimos 2 anos é realizada visto que pode não ter transcorrido tempo suficiente para um número considerável de citações.

2.2 Análise bibliométrica do portfólio

A análise bibliométrica corresponde à avaliação dos artigos quanto ao grau de relevância, ao reconhecimento científico, ao grau de relevância dos autores e às palavras-chave mais utilizadas. Tal etapa auxilia na gestão de informações e do reconhecimento científico do assunto investigado. A relevância dos periódicos foi analisada a partir do fator de impacto (FI), definido a partir da quantidade de citações dos artigos de cada periódico; e do indicador SJR (SCImago Journal Rank), ponderado conforme o prestígio da revista com relação a suas semelhantes. A relevância dos autores por sua vez, foi analisada preliminarmente a partir da quantidade de citações de seus artigos, valor obtido do Google Scholar[®].

2.3 Análise sistêmica do portfólio

A análise sistêmica consiste em uma análise quanto ao conteúdo dos artigos e como estes se relacionam, com o objetivo de identificar as tendências e oportunidades de pesquisas na linha de investigação.

3 RESULTADOS

3.1 Seleção do portfólio bibliográfico

Os artigos selecionados para o portfólio final podem ser observados no Quadro 3.

Quadro 3: Artigos do portfólio bibliográfico final.

Referência	Título
Akan (2021)	Examination of the behavior of the single anchored sheet piles in sand utilizing analytical and numerical methods
Chen et al. (2021)	Time-dependent load transfer behavior of grouted anchors in laterite
Chen et al. (2020)	Experimental Investigations of End Bearing Anchors Under Uplift Load Using Transparent Soil and Numerical Simulation
Emarah e Seleem (2018)	A numerical study of anchored sheet piles subjected to different types of sandy soils backfill

Fabris et al. (2021)	Numerical Simulation of a Ground Anchor Pullout Test Monitored with Fiber Optic Sensors
Halabian e Niknam (2020)	Numerical Simulation of Tieback Excavations with Soldier Piles Using a New Unified Soil Model Considering at Rest Condition
Kim e Finno (2019)	Inverse Analysis of a Supported Excavation in Chicago
Lee et al. (2012)	Effect of pressurized grouting on pullout resistance and group efficiency of compression ground anchor
Maleki et al. (2022)	A comprehensive FE study for design of anchored wall systems for deep excavations
Montero-Cubillo et al. (2020)	Analytical Model of an Anchored Wall in Creep Soils
Mothersille et al. (2015)	Support of 25 m deep excavation using ground anchors in Russia
Shen et al. (2021)	Prediction of load-displacement performance of grouted anchors in weathered granites using FastICA-MARS as a novel model
Zhu et al. (2021)	Application of disturbed state concept for load-transfer modeling of recoverable anchors in layer soils

3.2 Análise bibliométrica do portfólio

No processo de análise bibliométrica observou-se que os periódicos de maior impacto considerando os artigos do portfólio são: *Computers and Geotechnics*, *Geoscience Frontiers* e *Tunnelling and Underground Space Technology*, conforme evidenciado na Figura 1. Ademais, os periódicos *International Journal of Geomechanics*, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* e *Canadian Geotechnical Journal* também apresentam FI expressivo, acima de 3.

Outra análise realizada consistiu na quantidade de artigos publicados por periódicos, considerando todas as referências bibliográficas do portfólio, na qual outras revistas foram evidenciadas (Figura 2). Este segundo levantamento evidenciou os periódicos *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, *Computers and Geotechnics*, *Tunnelling and Underground Space Technology* e *International Journal of Geomechanics*. Cabe ressaltar que foram apresentados 12 dos periódicos com maior quantidade de citações, no entanto foram identificados outros 62, com 5 citações ou menos. Em resumo (Figura 1 e Figura 2), os periódicos de destaque foram *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* e *Computers and Geotechnics*.

Quanto à relevância dos artigos e dos autores do portfólio, apresenta-se um levantamento na Figura 3. Os dois artigos com maior quantidade de citações (e que também apresentam FI expressivo) foram o de Kim e Finno (2019) da temática de dimensionamento de escavações e o de Lee et al. (2012) sobre o efeito da pressão de injeção na capacidade de carga dos tirantes.

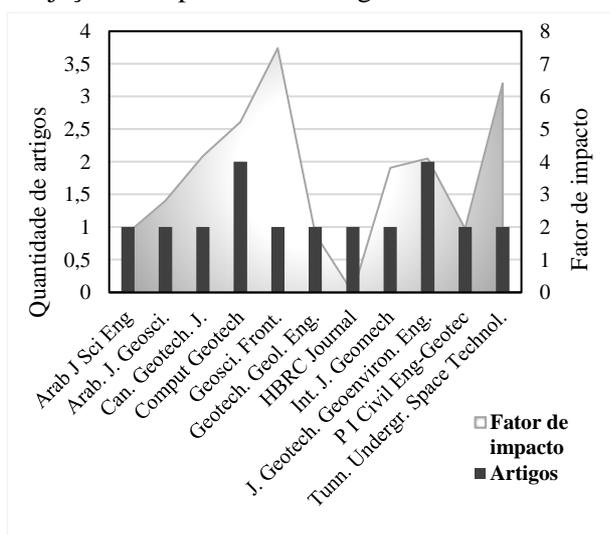


Figura 1: Relevância dos artigos dentro do portfólio.

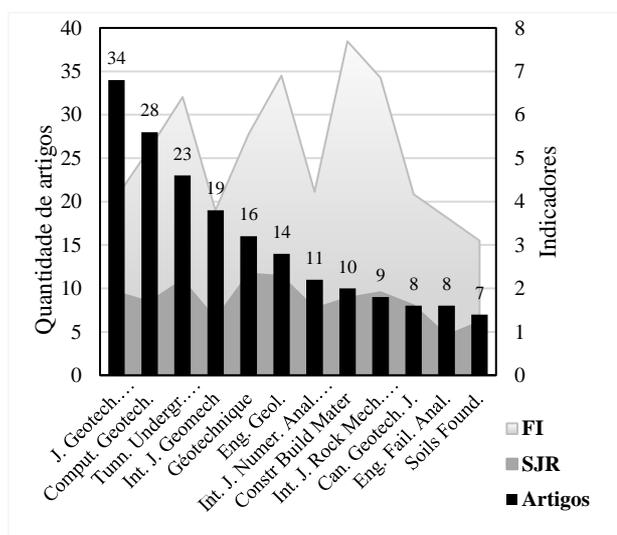


Figura 2: Relevância de artigos dentro das referências do portfólio.

Ademais, verificou-se que os trabalhos de Chen et al. (2021), Emarah e Seleem (2021), Kim e Finno (2019) e Mothersille et al. (2015) foram citados, cada um deles, uma vez em outro artigo dentro dos integrantes do

portfólio. Por fim, realizou-se um levantamento de todas as citações do portfólio, visando identificar os autores mais citados (Figura 4).

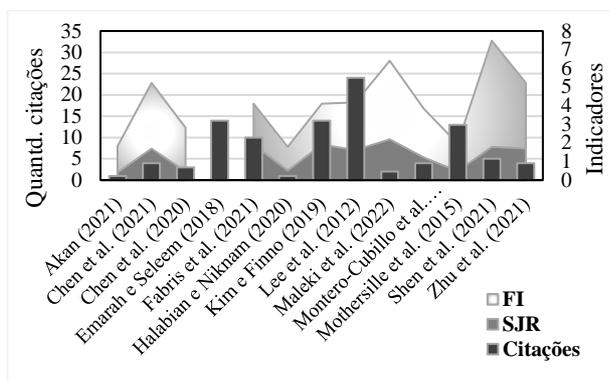


Figura 3. Relevância de artigos dentro das referências do portfólio.

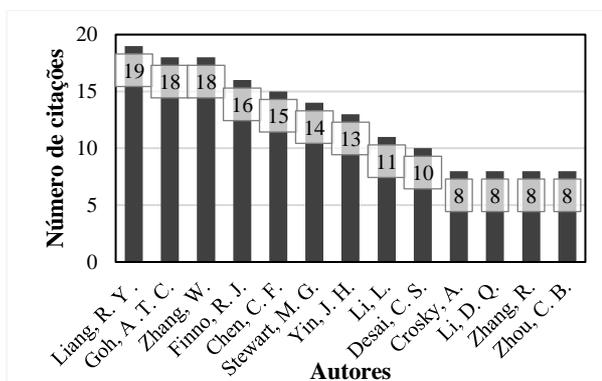


Figura 4. Citações de cada autor dentro das referências do portfólio.

Por meio desta análise, verificou-se que os autores de destaque são Liang, R. Y., Goh, A. T. C. e Zhang, W. Nota-se o destaque para autores asiáticos, o que é confirmado por um levantamento da origem dos autores dos artigos do portfólio: dentre os 13 artigos selecionados para o portfólio, 9 são de autores do continente Asiático, 5 da Europa e 1 para cada um dos demais continentes (América, África, Oceania). Um possível motivo para a expressiva quantidade de publicações sobre o tema no continente asiático é a sua extensão, associada a ocorrências de relevos acidentados. Ademais, em um contexto geral da geotecnia verifica-se expressiva quantidade de publicações de origem asiática.

Por fim, analisou-se a recorrência das palavras-chave dentro do portfólio, no entanto identificou-se uma grande variabilidade para a combinação de palavras na área pesquisada. Por exemplo, o termo “anchor” é citado em sete (7) artigos, porém em cinco (5) desses de forma composta: “ground anchor”, “grouted anchors”, “compression ground anchor”, “soil anchors”. O mesmo ocorre para o termo “wall”, elencado em cinco artigos, mas com diferentes composições: “diaphragm wall”, “tieback wall”, “sheet pile wall”, “anchored wall system”. Outros pares de palavras-chave distintas, porém com significado análogo dentro do portfólio são “load transfer behaviour” e “load-displacement relationships” ou “pullout resistance” e “ultimate uplift bearing capacity”.

3.3 Análise sistêmica do portfólio

Com relação ao eixo de pesquisa do dimensionamento de contenções atirantadas, foram identificados os artigos de Akan (2021), Emarah e Seleem (2018), Mothersille et al. (2015), Halabian e Niknam (2020), Kim e Finno (2019) e Maleki et al. (2022). Os três primeiros trazem abordagens mais simples, com estudos paramétricos ou então um estudo de caso específico. No trabalho de Halabian e Niknam (2020) por sua vez, propõem-se um novo modelo numérico 3D por método das diferenças finitas e os dois últimos (KIM e FINNO, 2019; MALEKI et al., 2022) trazem propostas de abordagens distintas de dimensionamento.

Kim e Finno (2019), apresentam uma nova metodologia de projeto, baseada em monitoramento contínuo e extensivo da contenção desde antes do início das escavações, mas aplicando-se os conceitos de análises numéricas para obtenção de bons resultados e Maleki et al. (2022) propõe um algoritmo para busca do "projeto ótimo" em termos de deslocamentos da cortina, associando uma rotina no Python com simulações numéricas.

Um ponto interessante com relação ao eixo das análises numéricas foi o uso dos métodos numéricos e inclusive abordagens 3D para modelagem específica do tirante, como é o caso dos trabalhos de Chen et al. (2020) e Fabris et al. (2021).

Quanto à temática da capacidade de carga dos tirantes, têm-se os trabalhos de Chen et al., (2021), Chen et al. (2020), Fabris et al. (2021), Lee et al. (2012), Montero-Cubillo et al. (2020), Shen et al. (2021) e Zhu et al. (2021). Em geral, os trabalhos identificados estão direcionados para o comportamento de transferência de carga dos tirantes e um melhor entendimento do fenômeno, como é o caso do trabalho de Chen et al. (2020) dos "solos transparentes", que busca a visualização do comportamento do tirante sob aplicação das cargas. Nessa linha também é possível citar o trabalho de Fabris et al. (2021), no qual realizou-se monitoramento carga-deslocamento do tirante

por meio de sensores instalados ao longo de todo seu comprimento. Zhu et al. (2021), por sua vez, propõe um método analítico para predição do comportamento carga-deslocamento dos tirantes.

Chen et al. (2021) e Montero-Cubillo et al. (2020) ressaltam a preocupação com melhores predições do comportamento de fluência do tirante ao longo do tempo. Lee et al. (2012) e Shen et al. (2021) citam a problemática da consideração da pressão de injeção para a capacidade de carga dos tirantes e, o primeiro propõe um modelo para estimativa da capacidade de carga dos tirantes por meio da teoria de expansão de cavidade cilíndrica, enquanto o segundo introduz a possibilidade do uso de inteligência artificial para estes estudos, considerando um maior número de variáveis envolvidas no processo (como a pressão de injeção). Em resumo, é praticamente um consenso entre os autores a simplicidade ou erros envolvidos ao considerar somente um valor de resistência na interface bulbo/terreno como constante para estimar a capacidade de carga dos tirantes.

Um ponto observado no decorrer da leitura dos trabalhos, no processo de seleção do portfólio bibliográfico, foi a ocorrência de grande quantidade de trabalhos abordando temas como tirantes de polímero reforçado com fibra de vidro (GFRP – *glass fiber reinforced polymer*), grampos helicoidais e chumbadores em rochas. Em comparação com estas três temáticas, o volume de trabalhos relativos a tirantes injetáveis e protendidos em solo é pequeno. Uma das hipóteses levantadas para tal é o estabelecimento da técnica dos tirantes injetáveis e protendidos em solo e pouca necessidade de avanços nesse sentido (em um contexto internacional). Desta forma, é possível que alguns artigos relevantes desta linha possam datar de antes de 2012 (que foi o corte temporal adotado). Outra possibilidade é a de que os pesquisadores ou as revistas de maior impacto estão mais focados em inovações tecnológicas ou problemas de maior porte, como as grandes escavações em túneis.

Observou-se que trabalhos envolvendo análises sísmicas para cortinas atirantadas ou para o dimensionamento de tirantes são bastante relevantes para países onde este fenômeno (terremotos) é expressivo, a exemplo, Caputo et al (2021), Fan et al. (2019), Lin et al. (2018).

Ademais, após a leitura de mais de duzentos (200) resumos e mais de cinquenta (50) artigos na íntegra, observou-se que um tema bastante interessante e relevante é a perda das forças de protensão dos tirantes ao longo do tempo, principalmente envolvendo o processo de corrosão sob tensão. Desta forma um quarto eixo de pesquisa teria bastante relevância e é citado como sugestão para futuras pesquisas.

4 CONCLUSÕES

Neste trabalho realizou-se uma revisão sistemática da literatura por meio de adaptação do método ProKnow-C, para as linhas de dimensionamento de estruturas de contenção atirantadas e previsão da capacidade de carga dos tirantes, na qual foram selecionados treze artigos de destaque. Alguns pontos são destacados:

- Observou-se um destaque para os periódicos *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering and Computers and Geotechnics* dentro das linhas pesquisadas.
- Há grande quantidade de pesquisas realizadas no continente asiático, os autores da região apresentaram destaque dentro do portfólio bibliográfico, principalmente da China.
- A análise sistêmica apontou para técnicas interessantes de dimensionamento, como a análise inversa, o uso de rotinas computacionais associadas a métodos numéricos para otimização de projetos e a aplicação de inteligência artificial.
- Na linha de capacidade de carga de tirantes, observou-se uma tendência para a aplicação de funções de transferência de carga.

No geral, durante o processo de seleção do portfólio foi identificado grande volume de trabalhos de outras áreas de inovação, como os tirantes de polímeros e os helicoidais. Ademais verificou-se que uma linha de pesquisa promissora para futuras pesquisas relaciona-se com a perda das forças de protensão em tirantes ao longo do tempo, principalmente associada ao fenômeno de corrosão. O método sistemático para revisão da literatura mostrou-se como uma ferramenta valiosa para definição e delimitação de investigações científicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Afonso, M.H.F., Souza, J.V., Ensslin, S.R., Ensslin, L. (2011). Como construir conhecimento sobre o tema de pesquisa? Aplicação do processo proknow-c na busca de literatura sobre avaliação do desenvolvimento sustentável. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 5(2), 47-62. Doi: 10.5773/rgsa.v5i2.424

- Akan, R. (2021). Examination of the behavior of the single anchored sheet piles in sand utilizing analytical and numerical methods. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 1949. doi: 10.1007/s12517-021-08347-x
- Azevedo, R.C., Ensslin, L. (2020). *Metodologia da pesquisa para engenharias*. Belo Horizonte: PPGEC/CEFET-MG, 1ª ed., 196 p.
- Azevedo, R. C. (2013). *Um modelo para gestão de risco na incorporação de imóveis usando metodologia multicritério para apoio à decisão – construtivista (MCDA-C)*. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Pós-Graduação em Engenharia Civil, 336 p.
- Caputo, G.V., Conti, R., Viggiani, G.M.B. Prüm, C. (2021). Improved Method for the Seismic Design of Anchored Steel Sheet Pile Walls. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 147(2), 04020154. doi: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002429
- Chen, C., Xia, Y., Li, C., e Ni, Q. 2020. Experimental Investigations of End Bearing Anchors Under Uplift Load Using Transparent Soil and Numerical Simulation. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45: 3743–3759.
- Chen, C., Zhu, S., Zhang, G., Mao, F., e Cai, H. 2021. Time-dependent load transfer behavior of grouted anchors in laterite. *Computers and Geotechnics*, 132: 103969. [doi: 10.1016/J.COMP GEO.2020.103969].
- Dias, M.V.L., Gomes, R.C., e Porto, T.B. 2021. Estudo do dimensionamento do bulbo ancorado de tirantes através da análise de ensaios de recebimento. *Geotecnia*, 151: 89-104.
- Emarah, D.A., Seleem, S.A.(2018). A numerical study of anchored sheet piles subjected to different types of sandy soils backfill. *HBRC Journal*, 14(3), 422-430. doi: 10.1016/J.HBRCJ.2018.03.001
- Fabris, C., Schweiger, H.F., Pulko, B., Woschitz, H., e Račanský, V. 2021. Numerical Simulation of a Ground Anchor Pullout Test Monitored with Fiber Optic Sensors. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 147(2): 04020163. [doi: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002442].
- Fan, Z., Zhang, J.J., Qi, S.C., Wu, J.B. (2019). Dynamic response of a slope reinforced by double-row anti-sliding piles and pre-stressed anchor cables. *Journal of Mountain Science*, 16(1), 226-241. doi: 10.1007/S11629-018-5041-Z
- Gerscovich, D.M.S., Danziger, B.R., e Saramago, R. 2016. *Contenções: teoria e aplicações em obras*. 2. ed. Oficina de Textos, São Paulo, SP.
- Gomes, C.L., Poggiali, F.S.J., Azevedo, R.C. (2019). Concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição e adições minerais: uma análise bibliográfica. *Revista Matéria*, 24(2). doi: 10.1590/S1517-707620190002.0673.
- Halabian, A.M., Niknam, K. (2020). Numerical Simulation of Tieback Excavations with Soldier Piles Using a New Unified Soil Model Considering at Rest Condition. *Geotech. Geol. Eng.*, 38(1), 109-136. doi: 10.1007/s10706-019-01002-z
- JCR – Journal Citations Reports. (2011). Disponível em: https://vm.basu.ac.ir/documents/1621946/0/2011_jcr.pdf. Acesso em: 24/11/2022.
- Kim, S., e Finno, R.J. 2019. Inverse Analysis of a Supported Excavation in Chicago. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 145(9): 04019050. [doi: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002120].
- Lee, S.W., Kim, T.S., Sim, B.K., Kim, J.S., Lee, I.M. (2012). Effect of pressurized grouting on pullout resistance and group efficiency of compression ground anchor. *Can. Geotech J.*, 49, 939-953. doi: 10.1139/T2012-059
- Lin, Y.L., Cheng, X.M., Yang, G.L., Li, Y. (2018). Seismic response of a sheet-pile wall with anchoring frame beam by numerical simulation and shaking table test. *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, 115, 352-364. doi: 10.1016/j.soildyn.2018.07.028
- Liu, X., Wang, J., Huang, J., e Jiang, H. 2017. Full-scale pullout tests and analyses of ground anchors in rocks under ultimate load conditions. *Engineering Geology*, 228: 1-10. [doi: 10.1016/j.enggeo.2017.07.004].
- Maleki, J., Pak, A., Yousefi, M., e Aghakhani, N. 2022. A comprehensive FE study for design of anchored wall systems for deep excavations. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 122: 104340. [doi: 10.1016/j.tust.2021.104340]
- Montero-Cubillo, N.S., Galindo-Aires, R.A., Serrano-González, A., Olalla-Marañón, C., Simic-Sureda, F.D. 2020. Analytical Model of an Anchored Wall in Creep Soils. *Int. J. Geomech.*, 20(4): 04020027. [doi: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001634].
- Mothersille, D. Duzceer, R. Gokalp, A., Okumusoglu, B. 2015. Support of 25m deep excavation using ground anchors in Russia. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. *Geotech. Eng.*, 168(4): 281-295. [doi: 10.1680/gen.14.00043].
- Shen, H., Li, J., Wang, S., e Xie, Z. 2021. Prediction of load-displacement performance of grouted anchors in weathered granites using FastICA-MARS as a novel model. *Geoscience Frontiers*, 12: 415-423. [doi: 10.1016/J.GSF.2020.05.004]
- Zhu, S., Chen, C., Mao, F., e Cai, H. 2021. Application of disturbed state concept for load-transfer modeling of recoverable anchors in layer soils. *Computers and Geotechnics*, 137: 104292. [doi: 10.1016/j.compgeo.2021.104292].