

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DO ESTADO DA ARTE DE ROBÔS ESCALADORES

Pedro Franco de Magalhães¹; Alexandro Quirino da Silva²; Bruno de Sousa Silva²; Carlos Eduardo de Almeida²; Mauricio Andre Santos Salomão²; Saulo Queiroz Figliuolo²; Toni Antunes Ferraz²; Rodrigo Silveira de Santiago²; Valter Estevão Beal²

¹ Bolsista; Iniciação tecnológica (IT) - Petrobras; pedro.franco@fbter.org.br

² Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador - BA; carlos.csa@fieb.org.br

RESUMO

Este estudo realiza uma análise bibliométrica para explorar o avanço recente em robôs escaladores, com ênfase em subsistemas como locomoção, fixação, ferramentas e controle. A pesquisa, baseada em artigos dos últimos 10 anos na base de dados do Scopus, observa uma preferência na locomoção por esteiras imantadas (36%), na funcionalidade por ferramentas de inspeção (36%), na fixação magnética por ímãs permanentes (43%) e na manutenção naval (36%) como a área de aplicação mais comum. O estudo destaca o espaço para desenvolvimento de soluções com detecção e correção embutidas, ímãs posicionados ao longo do robô, permitindo maior adaptabilidade, e o desenvolvimento da tecnologia com eletroímã permanente, possibilitando maior controle no funcionamento, além de enfatizar a relevância de métodos numéricos e simulações computacionais. Estas conclusões orientam futuras pesquisas e projetos no domínio de robôs escaladores.

PALAVRAS-CHAVE: Robôs escaladores; análise bibliométrica; esteiras imantadas; ferramentas de inspeção; fixação magnética.

1. INTRODUÇÃO

Robôs escaladores (*Crawling Robots*) vêm recebendo uma grande atenção, para diversos tipos de aplicação, substituindo humanos em tarefas onde o acesso é difícil e perigoso. Consequentemente, a criação e desenvolvimento de robôs para diferentes tarefas e ambientes, tem se tornado cada vez mais necessária. Por meio deles é possível realizar tarefas que como a limpeza de edifícios, manutenção em cascos de navios e a inspeção em plataformas de petróleo. De maneira simplificada os subsistemas podem se classificar, em: locomoção, fixação, ferramenta de aplicação e controle e automação.^{1, 2, 3, 4} Cada um destes sistemas possui uma função:

- Locomoção: é realizada por diferentes formas, que dependem do tipo de funcionalidade proposta e do nível de complexidade da região de trabalho, afinal, além da variação de complexidade geométrica, existe a consideração do ambiente que será aplicada. A partir disso, a locomoção pode ser encontrada de 5 formas, braços e pernas, rodas, esteiras, içado por cabos e trilhos e estrutura deslizante.^{2, 3}
- Fixação: desempenha um papel crucial na garantia da estabilidade e segurança durante as operações, permitindo a funcionalidade de todos os outros subsistemas a partir da força de adsorção necessária, exercida por meios como sucção e propulsão, força magnética, equipamento de agarre, aderência biomimética e por trilhos.^{2, 3}
- Ferramenta: tem relação com a natureza de aplicação do robô, a missão principal na qual o robô será projetado e desenvolvido para concluir, portanto, existem opções como jatos d'água para limpar paredes, braços articulados para manutenção, câmeras e sensores para inspeção e detecção, trituradores, entre uma infinidade de possibilidades, onde o limite é definido pela missão principal.
- Controle e automação: é de extrema importância, visto que está diretamente relacionado com a não necessidade de posição de risco para operadores humanos, possibilitando a operação remota ou autônoma de forma precisa e estável.³

Este trabalho propõe-se avaliar, por meio de análise bibliométrica, o estado da técnica de robôs escaladores em diferentes nichos de aplicação, ao verificar seus subsistemas de funcionamento, métodos de desenvolvimento e espaço para desenvolvimento tecnológico.

2. METODOLOGIA

A metodologia que será aplicada, se trata da análise bibliométrica das tendências tecnológicas acerca de robôs escaladores, seguindo uma metodologia de pesquisa. Inicialmente foi selecionada a base de dados Scopus considerando seu amplo espectro de cobertura de engenharia, robótica e ciências aplicadas. Tendo como condição de contorno para filtrar trabalhos, foi definido um período que abrange os últimos 10 anos, visando a evolução mais recente na tecnologia abordada. Utilizando uma linha de termos-chaves como "robôs escaladores (*crawling robots*)" e "robôs escaladores de limpeza (*cleaning crawling robots*)", que tem como

objetivo principal abordar não só robôs de limpeza, mas escaladores em geral, em que a ferramenta de aplicação tem uma infinidade de opções, além de filtrar a linguagem para inglês e definir, para análise prévia foram considerados 14 artigos, em cerca de 22 artigos lidos, para resultados amostrais.

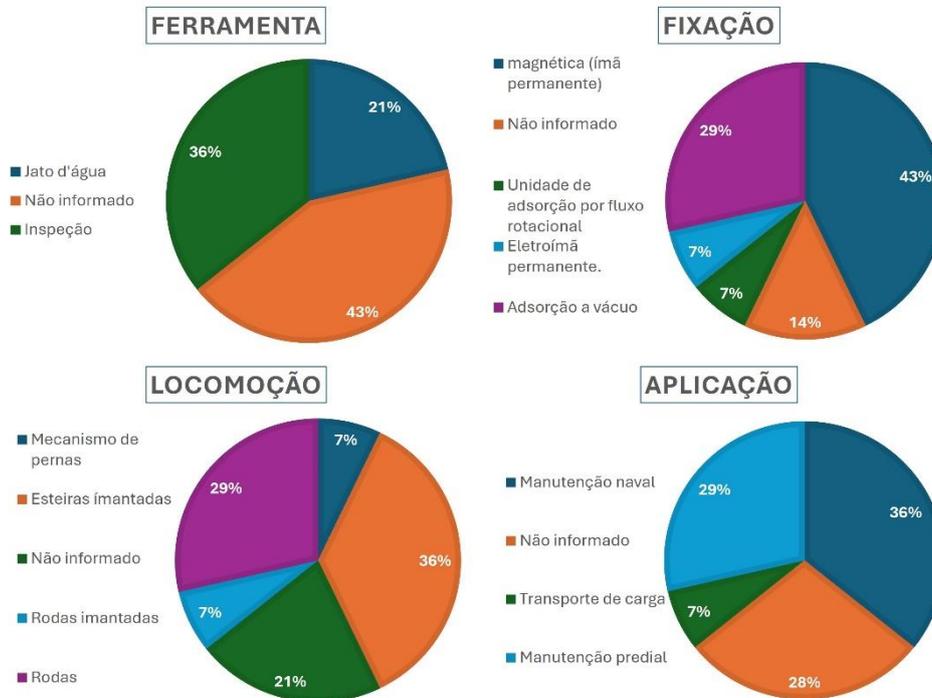
Os artigos foram selecionados de maneira criteriosa, por meio da leitura preliminar do título e resumo, e em seguida a revisão detalhada para aqueles considerados relevantes. A análise visa atingir dados como o tipo de ferramenta de aplicação, tipo de fixação, forma de locomoção, massa específica, gênero de pesquisa do artigo (numérico, analítico, experimental...), que podem se resumir a áreas específicas de atuação dos robôs escaladores, e as formas de projeto desses equipamentos. Posteriormente uma análise e bibliométrica mais abrangente será realizada, incluindo indicadores como documentos por ano, filiação, investidores e autores.

Diante disso, será analisado a convergência de tendências para cada um dos tópicos abordados acima, relatando as soluções para cada tipo de subsistema, analisado por nível de relevância, além de buscar justificar as soluções mais utilizadas e gaps tecnológicos de determinado subsistema.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados pôde ser resumida na Figura 1, agrupando para cada subsistema a frequência de soluções empregadas.

Figura 1: Convergência de dados para cada subsistema



Fonte: Autor.

Para o subsistema da ferramenta de aplicação foi observado uma grande aplicação para inspeção seguida de limpeza com jato d'água. Isso mostra que a detecção de falhas e defeitos, ainda é a mais explorada. Para o subsistema de locomoção, há uma predominância para esteiras imantadas e rodas. A aplicação para rodas, com ímãs posicionados ao longo do robô (29%) aproveitar a eficiência de locomoção da roda, com sua melhor manobrabilidade, velocidade e eficiência e menor resistência ao deslocamento, revelando um espaço para desenvolvimento nessa área. Para o subsistema de fixação, foi identificado uma grande frequência no uso de ímãs permanentes. A aplicação destes robôs é muito grande em diferentes segmentos, não demonstrando uma hegemonia nas aplicações.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da análise bibliométrica e dos resultados obtidos é possível delinear considerações importantes sobre o estado da arte de robôs escaladores. A convergência de dados demonstra padrões significativos para o subsistema de fixação, locomoção, ferramenta de aplicação e controle e automação, além de dados relevantes sobre a área mais comum de aplicação.

Sumarizando os resultados obtidos, temos para cada subsistema:

- Locomoção: Esteiras imantadas predominam, mas rodas e ímãs oferecem oportunidades de pesquisa.
- Ferramenta de aplicação: Integração de detecção e correção é promissora.
- Fixação: Ímãs permanentes são populares, mas eletroímãs com controle de fluxo magnético podem ser mais adequados em aplicações específicas.
- Aplicação mais comum: Manutenção naval, onde ímãs permanentes são vantajosos devido à superfície ferromagnética dos cascos.

Estas conclusões orientam futuras pesquisas, destacando áreas de desenvolvimento e importância para o desenvolvimento de robôs escaladores, valendo ressaltar que foi uma pesquisa reduzida e que se pretendemos expandir ainda mais essa análise de dados para guiar futuros projetos.

5. REFERÊNCIAS

- ¹ YANG, Pei; SUN, Lingyu; ZHANG, Minglu. Design and analysis of a passive adaptive wall-climbing robot on variable curvature ship facades. **Applied Ocean Research**, [S.L.], v. 143, p. 103879, fev. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apor.2024.103879>.
- ² HUANG, Haocai; LI, Danhua; XUE, Zhao; CHEN, Xianlei; LIU, Shuyu; LENG, Jianxing; WEI, Yan. Design and performance analysis of a tracked wall-climbing robot for ship inspection in shipbuilding. **Ocean Engineering**, [S.L.], v. 131, p. 224-230, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.01.003>.
- ³ YANG, Canjun; LIU, Siyue; SU, Hang; ZHANG, Luning; XIA, Qingchao; CHEN, Yanhu. Review of underwater adsorptive-operating robots: design and application. **Ocean Engineering**, [S.L.], v. 294, p. 1-16, fev. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.116794>.
- ⁴ WU, Shanqiang; WU, Lijun; LIU, Tao. Design of a sliding wall climbing robot with a novel negative adsorption device. **2011 8Th International Conference On Ubiquitous Robots And Ambient Intelligence (Urai)**, [S.L.], p. 97-100, nov. 2011. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/urai.2011.6145940>
- ⁵ WANG, Cun; ZHANG, Minglu; JIA, Jidong; ZHANG, Xuan. Design and Analysis of Crawler Robot Mechanism for Cabin Cleaning. **2023 2Nd International Symposium On Control Engineering And Robotics (Iscer)**, [S.L.], p. 197-205, fev. 2023. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/iscer58777.2023.00040>.
- ⁶ HU, Shaojie; PENG, Rushu; HE, Kai; LI, Jiuhua; CAI, Jiannan; ZHOU, Wei. Structural design and magnetic force analysis of a new crawler-type permanent magnetic adsorption wall — Climbing. **2017 Ieee International Conference On Information And Automation (Icifa)**, [S.L.], p. 598-603, jul. 2017. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/icifa.2017.8078978>.
- ⁷ ZHANG, Yuanming; DODD, Tony; ATALLAH, Kais; LYNE, Ian. Design and optimization of magnetic wheel for wall and ceiling climbing robot. **2010 Ieee International Conference On Mechatronics And Automation**, [S.L.], p. 1393-1398, ago. 2010. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/icma.2010.5589061>.
- ⁸ FENG, Yuyong; GUAN, Dianzhu; DENG, Haoyun; WANG, Xianhui; SONG, Xincheng. Design and optimization of a permanent magnet crawler for a marine wall-cleaning robot. **Journal Of Physics: Conference Series**, [S.L.], v. 2459, n. 1, p. 1-5, 1 mar. 2023. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2459/1/012122>.
- ⁹ ZHOU, Qiang; LI, Xin. Experimental investigation on climbing robot using rotation-flow adsorption unit. **Robotics And Autonomous Systems**, [S.L.], v. 105, p. 112-120, jul. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.robot.2018.03.008>.
- ¹⁰ CHEN, Xin. Study for a Wall-Climbing Robot Magnetic Attraction Force of An Electronically Controlled Permanent Magnet. **Converter**, [S.L.], p. 119-132, 10 jul. 2021. Auricle Technologies, Pvt., Ltd.. <http://dx.doi.org/10.17762/converter.110>.
- ¹¹ HIROSE, S.; NAGAKUBO, A.; TOYAMA, R.. Machine that can walk and climb on floors, walls and ceilings. **Fifth International Conference On Advanced Robotics 'Robots In Unstructured Environments**, [S.L.], p. 753-758, 1991. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/icar.1991.240585>.
- ¹² GAO, Xiaoshan; YAN, Liang; WANG, Gang; CHEN, I-Ming. Modeling and Analysis of Magnetic Adhesion Module for Wall-climbing Robot. **Ieee Transactions On Instrumentation And Measurement**, [S.L.], p. 1-1, 2022. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tim.2022.3224522>.
- ¹³ KOO, Ig Mo; TRONG, Tran Duc; LEE, Yoon Haeng; MOON, Hyungpil; KOO, Jachoon; PARK, Sun Kyu; CHOI, Hyouk Ryeol. Development of Wall Climbing Robot System by Using Impeller Type Adhesion Mechanism. **Journal Of Intelligent & Robotic Systems**, [S.L.], v. 72, n. 1, p. 57-72, 24 fev. 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10846-013-9820-z>.
- ¹⁴ WANG, Kun; WANG, Wei; ZHANG, Houxiang. Analysis and Design of Attachment Module Based on Sine Vibrating Suction Method for Wall-climbing Robot. **Procedia Engineering**, [S.L.], v. 12, p. 9-14, 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2011.05.003>.

