



ConBRepro

XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



IA nas Engenharias

29 nov. a 01 de dezembro 2023

Estudo da arte sobre medições R&R na Análise de Sistema de Medição: Revisão Sistemática de Literatura

Luiz Fernando Braga

Instituto de Engenharia de Produção e Gestão (IEPG) – Universidade Federal de Itajubá

Dalva Maria de Castro

Instituto de Engenharias Integradas (IEI) – Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira

Ana Carolina Oliveira Santos

Instituto de Engenharias Integradas (IEI) – Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira

Tarcísio Gomes de Brito

Instituto de Engenharias Integradas (IEI) – Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira

Jeniffer De Nadea

Instituto de Engenharia de Produção e Gestão (IEPG) - Universidade Federal de Itajubá

Resumo: O controle estatístico do processo é diretamente afetado pela qualidade das medições, portanto, a aceitação de um sistema de medição é uma questão fundamental. Um estudo de repetitividade e reprodutibilidade (GR&R) de medição podem determinar se a variabilidade total observada em um processo vem da fabricação ou do sistema de medição. Esta revisão sistemática da literatura tem como objetivo avaliar o estado da arte em estudos de GR&R. Com base nas descobertas, os artigos são classificados de acordo com sua área de publicação, volume de citações e bases de dados. Por fim, são destacados os principais autores, métodos e área de aplicação de cada estudo.

Palavras-chave: Sistemas; Medição; Repetitividade; Reprodutibilidade; Gauge R&R.

Study of the art on measurements R&R in Measurement System Analysis: Systematic Literature Review

Abstract: Statistical process control is directly affected by the quality of measurement, therefore acceptance of a measurement system is a fundamental issue. A measurement repeatability and reproducibility (GR&R) study can determine whether the total variability observed in a process comes from manufacturing or the measurement system. This systematic literature review aims to evaluate the state of the art in GR&R studies. Based on the findings, articles are classified according to their area of publication, volume of citations and databases. Finally, the main authors, methods and area of application of each study are highlighted

Keywords: Systems; Measurement; Repetitiveness; Reproducibility; Gauge R&R

1. Introdução

A incerteza de medição é um parâmetro associado ao resultado de uma medição que caracteriza a dispersão dos valores que podem razoavelmente ser atribuídos à quantidade medida, Mendes (2016). Portanto, medições permitem avaliar o desempenho de processos, produtos e sistemas. Isso é essencial para entender como as coisas estão funcionando e identificar áreas que precisam de melhoria, (JURAN, 1990).

Juran (2010) ainda reconhece a importância da Análise de Sistema de Medição (MSA) na redução da variabilidade nos processos de produção e na melhoria da qualidade, destacando que dados precisos e confiáveis são essenciais para a tomada de decisões informadas sobre a qualidade.

A Análise do Sistema de Medição (ASME), também conhecida como MSA (Measurement System Analysis), é um estudo cuidadosamente planejado que busca identificar e quantificar as variações em sistemas de medição. Essa análise visa entender o comportamento do sistema de medição e avaliar sua capacidade de fornecer medições precisas e confiáveis (AIAG, 2010). Seguir um processo sistemático para avaliar a confiabilidade e a precisão do sistema de medição é o mais importante de acordo com (BURDICK; BORROR; MONTGOMERY 2003a).

A realização de um MSA ajuda a identificar e quantificar erros e variações no sistema de medição. Isso garante medições mais precisas e confiáveis, melhorando a qualidade do produto e a confiabilidade do controle de processos (BURDICK; BORROR; MONTGOMERY, 2003a). Já para Wheeler (1995) enfatiza que a MSA é essencial para a tomada de decisões informadas, medições confiáveis e precisas fornecem a base para a análise de dados e a identificação de problemas, permitindo decisões baseadas em fatos e dados sólidos, bem como faz parte de um processo contínuo de melhoria da qualidade.

Erros em sistemas de medição podem ser originados de várias fontes e podem afetar a precisão e a confiabilidade das medições. Principais erros que ocorrem em um sistema de medição incluem: Precisão; Exatidão; Reprodutibilidade; Repetibilidade; Linearidade; Histerese; Temporização; Resolução, (AIAG, 1990).

A MSA desempenha um papel crucial na análise de capacidade de um sistema de medição em produzir medições precisas e confiáveis, e permite identificar e quantificar os erros e variações associados ao sistema de medição, o que, por sua vez, ajuda a determinar a qualidade do dispositivo de medição, (BURDICK; BORROR; MONTGOMERY, 2003a). Os autores ainda discutem a importância da MSA no contexto da melhoria da qualidade da variabilidade em processos de fabricação na, identificação de fontes de erro, tomada de decisão, melhoria contínua, conformidade com as normas e regulamentos, (BURDICK; BORROR; MONTGOMERY, 2003a).

O conceito de R&R, é uma análise específica para quantificar a variabilidade do operador (repetibilidade) e a variabilidade entre diferentes operadores (reprodutibilidade) ao realizar medições repetidas (BURDICK; BORROR; MONTGOMERY, 2003b). Os autores ressaltam a importância de avaliar tanto a repetibilidade quanto a reprodutibilidade de um sistema de medição, pois ambas contribuem para a variação total do sistema. Compreender esses componentes de variabilidade é essencial para tomar decisões informadas sobre a qualidade do sistema de medição.

Determinar a técnica estatística adequada e os fatores a serem considerados em um estudo de Repetibilidade e Reprodutibilidade, envolve uma análise cuidadosa das características do sistema de medição, do contexto do estudo e dos objetivos desejados. A ANOVA é uma técnica estatística amplamente usada em estudos de R&R. Ela divide a variação total nas medições em componentes de repetibilidade e reprodutibilidade, e

também é eficaz quando se deseja entender a contribuição de diferentes fontes de variação (MONTGOMERY; RUNGER, 1993)

Grant;Leavenworth (1980) abordam como a ANOVA é aplicada em estudos de Repetitividade e Reprodutibilidade para avaliar a precisão de sistemas de medição, incluindo sistemas de medição usados em processos de usinagem, como o torneamento de aço e alumínio . A confiança nos resultados da ANOVA depende da validação dos pressupostos subjacentes, como normalidade dos resíduos, homogeneidade de variâncias e independência dos resíduos, (MONTGOMERY, 2017).

Esta revisão sistemática da literatura tem como objetivo a identificação de lacunas no conhecimento sobre Análise de Sistemas de Medição (MSA), e avaliar o estado da arte no assunto através de um processo replicável e transparente.

O artigo está estruturado da seguinte forma: A primeira seção destaca os principais conceitos abordados, lacunas e objetivos do estudo. A segunda seção discute os procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa. A terceira seção apresenta os resultados da análise do estado da arte da literatura. Por fim, a quarta seção apresenta as considerações finais do estudo.

2. Procedimentos Metodológicos

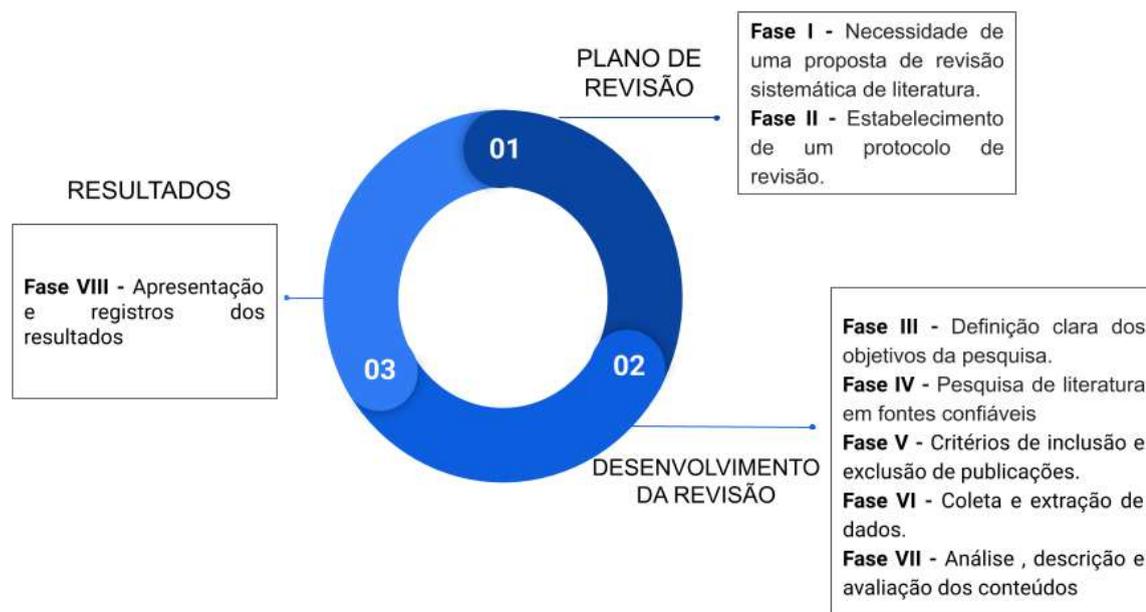
A Análise de Sistemas de Medição (MSA) desempenha um papel fundamental na garantia da qualidade, na eficiência dos processos de produção e na tomada de decisões baseadas em dados precisos e confiáveis. Esta revisão sistemática da literatura tem como objetivo a identificação de lacunas no conhecimento sobre Análise de Sistemas de Medição (MSA), e avaliar o estado da arte no assunto através de um processo replicável e transparente.

A RSL segue uma metodologia rigorosa e sistemática, que inclui critérios de inclusão e exclusão claros, uma busca sistemática e transparente da literatura, avaliação da qualidade dos estudos incluídos e análise quantitativa, quando apropriada (meta-análise) e seguem diretrizes de relato específicas, como o guia *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA,2020) o que a difere de um revisão de narrativas que não seguem uma metodologia tão estruturada quanto a RSL. Elas tendem a ser mais descritivas e subjetivas em sua abordagem. As revisões narrativas podem incluir uma ampla variedade de estudos sem critérios de inclusão e exclusão rígidos e podem não realizar análises quantitativas (LACEY *et al* 2011). Para o estudo foi utilizado o protocolo utilizado por Moher *et al* (2009), em três etapas e nove fases conforme Figura 2.

A Etapa 1 foi subdividida em duas fases, a Fase I fase destaca as razões para a realização da RSL. Na Fase II fica estabelecido o protocolo da RSL de forma objetiva.

Na Etapa 2 há uma nova subdivisão em cinco fases (III, IV, V, VI,VII), identifica-se na Fase III a ênfase está nos objetivos já delimitados da pesquisa e assim a obtenção das questões-chave que serão abordadas no artigo, bem como as palavras-chave para identificação dos artigos bases da pesquisa. Na Fase IV o enfoque está nas buscas em bases confiáveis de pesquisa, foi utilizada a base de dados da Web of Science, nesta etapa utilizaremos o software ZOTERO para armazenagem e organização das citações e posteriormente auxiliar na criação da lista de referência.

Figura 2- Protocolo de revisão sistemática de literatura adaptado de Moher et al (2009)



Na Fase V estabeleceu as strings: “R & R”, “análise de sistemas de medição”, “reprodutibilidade e repetitividade” e “sistemas de medição”, e todos os sinônimos das palavras citadas para selecionar as publicações com relação aos assuntos. Nesta fase também foi determinado o período das publicações aceitas, e filtros conforme descrito na Tabela 1. Desta forma, a pesquisa realizada em 09/2023 pode-se chegar a um quantitativo de 655 publicações e os metadados coletados para triagem conforme descrito na Figura 3. Os critérios adotados para exclusão de artigos foram: desalinhamento ao tema da pesquisa, não coincidência de ao menos duas palavras-chave, número mínimo de cinco citações do artigo e serem da área de Engenharia de Produção ou Mecânica, conforme descrito na tabela 2.

Tabela 1 – Filtros básicos e Strings de busca

Busca Strings	Período (anos)	Nº de artigos
Analysis AND;	Anos – 2013/2023	
Gauge R&R AND;	Área de Engenharia	655
Repeatability AND;		
Reproducibility.	Artigos Científicos Abertos	

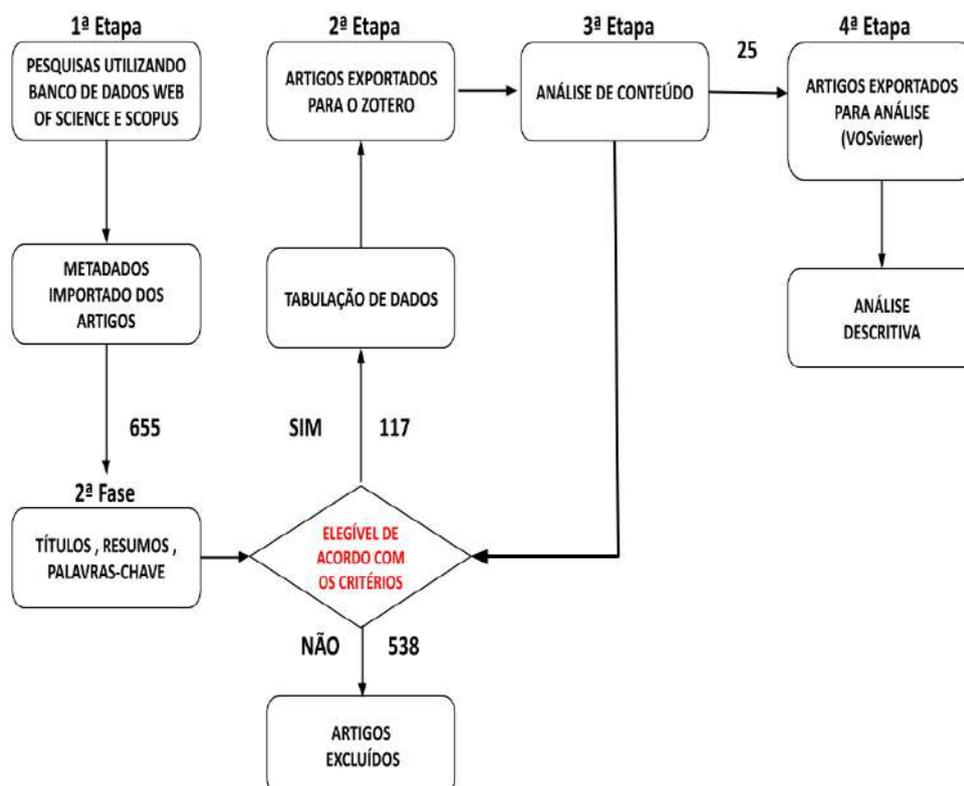
Na fase VI foi realizado o tratamento dos dados dos artigos, onde foram verificados os seguintes critérios: área de pesquisa, quantidade de citações, após a seleção obteve-se assim os artigos elegíveis. Já na Fase VII o tratamento feito na fase anterior possibilitou uma coleta de mais informações, tais como: metodologia, objetivos e contribuições, e descartados os artigos conforme descrito em Tabela 2. Após esse processo, os artigos foram analisados de forma descritiva (análise bibliométrica) para chegar ao seu grau de relevância e evolução. O VOSviewer foi utilizado para auxiliar na análise de adequação dos termos de busca, gerando redes de similaridades entre: palavras-chave, cocitação e autores com mais publicações.

E por fim, concluídas as Etapas 1 e 2 chegou-se a Etapa III onde os resultados desta revisão sistemática da literatura serão demonstrados como descrito na Fase VIII.

Tabela 2 – Critérios de exclusão para triagem de publicações da Fase V

Seleção de artigos	Critérios de exclusão	Nº de artigos excluídos
Triagem: Títulos; resumos, palavras-chave e citações.	Fora da área da pesquisa,	325
	Quantidade mínima de palavras-chave (duas)	213

Figura 3 - Etapas de triagem da revisão sistemática de literatura



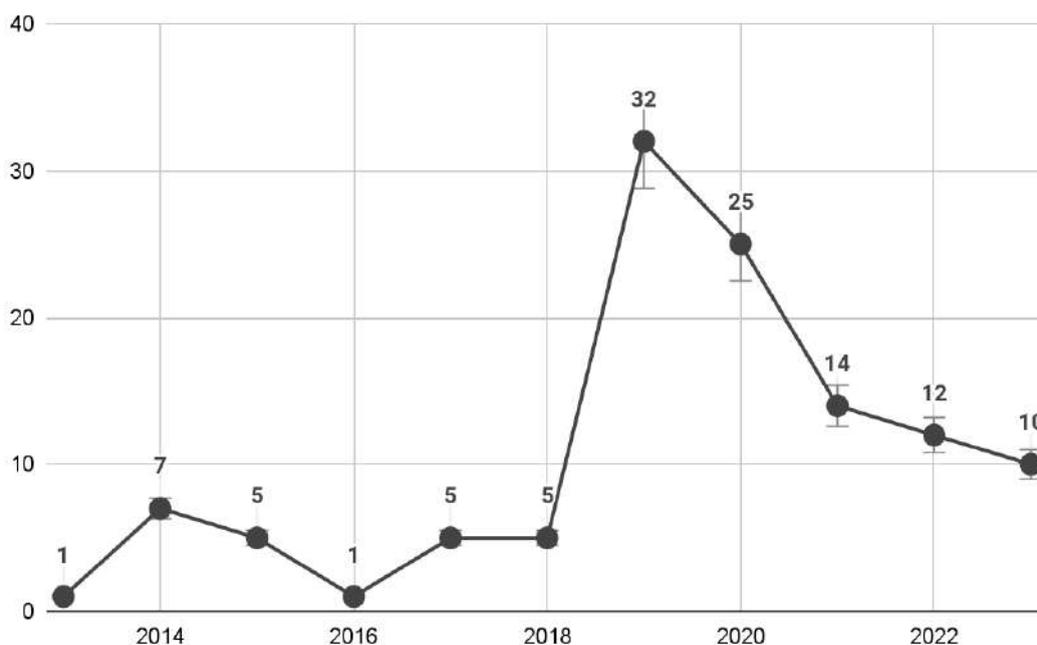
3. Resultados e Discussões

3.1 Análises descritivas

O estudo de MSA é crucial para melhorar a qualidade dos produtos e processos. Ele ajuda a garantir que as medições usadas para monitorar e controlar a qualidade sejam precisas e confiáveis. Medições imprecisas podem levar a produtos fora de especificação e aumento de defeitos, (BURDICK; BORROR; MONTGOMERY, 2003a).

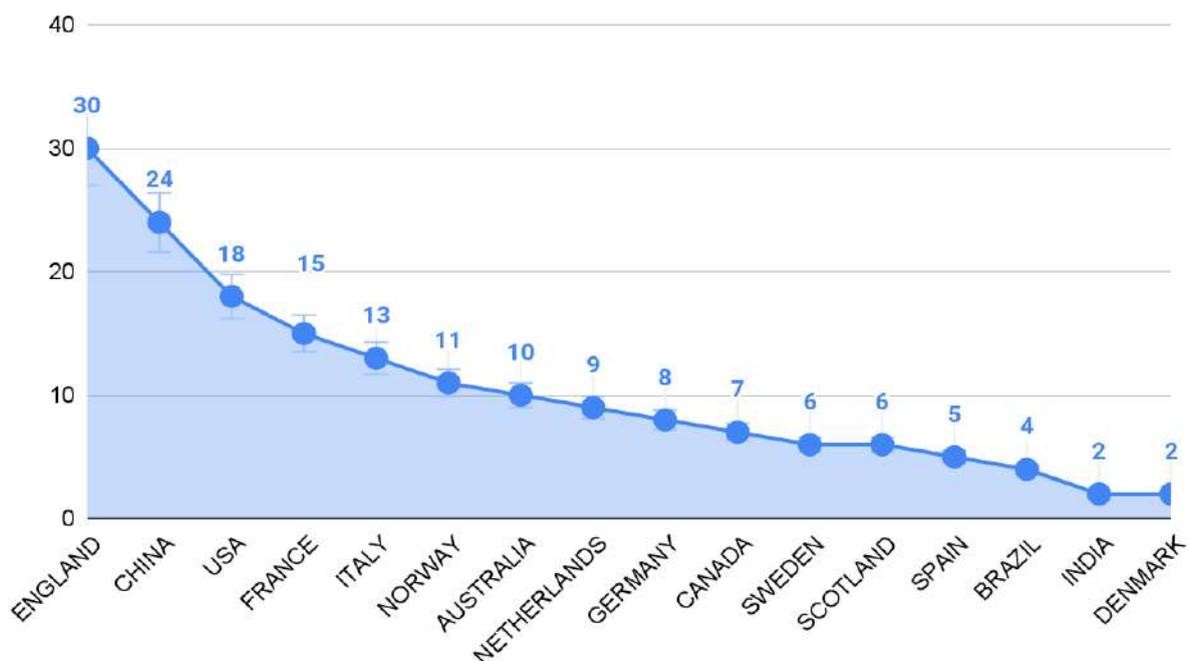
Na Figura 4 pode-se observar o número de publicações na amostra ao longo dos anos, em uma análise do gráfico podemos verificar que o tema esteve em ascensão até o ano de 2021 e obteve uma leve queda no ano de 2022, observa-se também que em 2023 até o momento desta pesquisa 09/2023 que existe uma tendência do aumento de publicações em comparação aos anos anteriores.

Figura 4 - Número de publicações por ano



Aproximadamente 25,7% dos artigos publicados da amostra relacionados ao estudo de R&R em MSA eram Ingleses, seguidos de China 20% e Estados Unidos da América (EUA) 15%, o Brasil aparece com 3,4% das publicações o que demonstra que no Brasil ainda existe uma grande possibilidade do tema ser explorado, conforme descrito na Figura 5. O grande volume de publicações da China pode ser explicado pela exigência de padronização, intercambialidade e controle de qualidade, tendo em vista que esses fatores podem levar a resultados melhores, AIAG (2010).

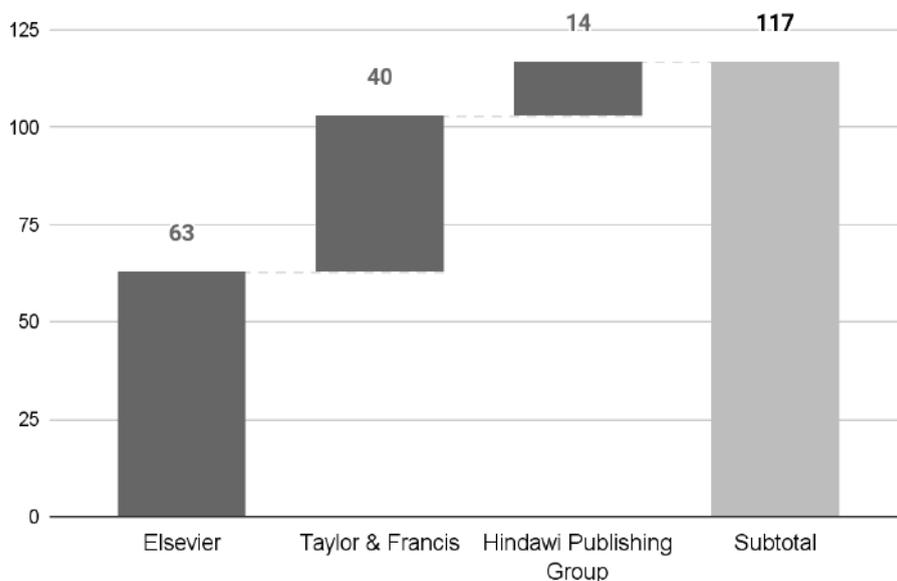
Figura 5 - Nacionalidade das publicações



A base de dados com o maior número de publicações pode observá-los no Figura 6, no período foram encontrados as quatro com maior número de publicações e verificou-se

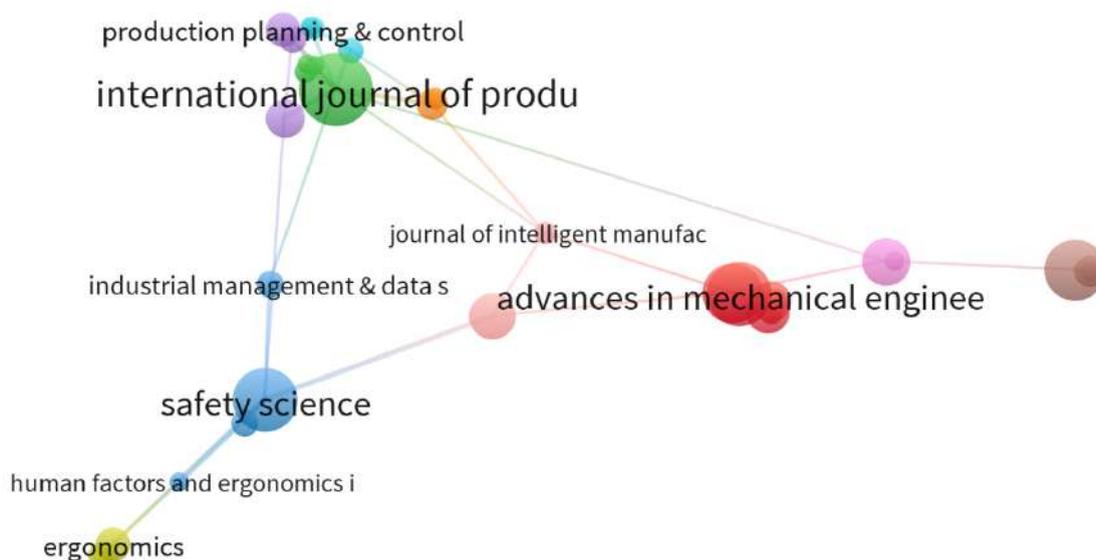
que a base de dados Elsevier possui 53,8% das publicações no período, um total de 63 artigos.

Figura 6 - Publicações por bases de dados da amostra



Além disso, foram encontradas as áreas de engenharia e tecnologia com maior número de publicações, sendo elas: Revista Internacional de Pesquisa de Produção (6,11%), Avanços na Engenharia Mecânica (4,73%), Máquinas (4,43%), Revista Internacional de Tecnologia Avançada de Fabricação (4,10%), Engenharia Térmica Aplicada (2,75%), de acordo com classificação das áreas de publicação da Web of Science, demonstrado na Figura 7. Observa-se também o surgimento da aplicação da metodologia em fatores não somente relacionados a máquinas e equipamentos, a nova abordagem aponta para os fatores humanos e ergonômicos.

Figura 7 - Áreas de Engenharia e Tecnologia das publicações

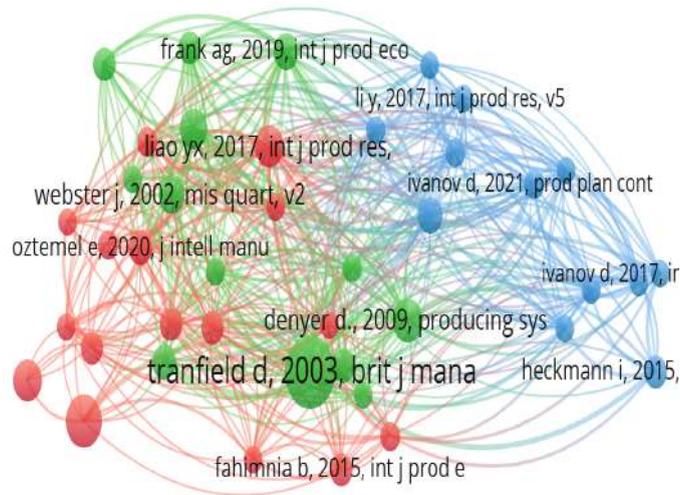


3.2 Análises bibliométrica

A análise bibliométrica foi composta por autores mais citados ao longo dos anos, rede de coocorrência de palavras-chave, e redes de co-citação. VOSviewer foi usado para analisar a correlação entre autores, palavras-chave e, conseqüentemente, os principais centros de pesquisa. Na visualização de redes, os itens representam autores ou

a importância de um artigo em relação a um determinado assunto. Das 655 citações, 100 foram citadas pelo menos cinco vezes na amostra e estas foram as 10 primeiras mais citadas conforme demonstrado na Figura 10.

Figura 10 - Rede de co-citação de referências



A tabela 3 descreve os resultados obtidos através da análise dos artigos, utilizando ainda os artigos mais citados da amostra para enfatizar assim ainda mais a relevância sobre o tema, e podemos observar o grande volume de utilização do método R&R.

Tabela 3 - Autores, títulos, referências, citações, metodologia e área de aplicação.

Autores	Título do Artigo	Nº de referências	Nº de citações	Método	Área de aplicação
Ji, W; Wang, LH	Industrial robotic machining: a review	149	150	MRR	Automation & Control Systems; Engineering, Manufacturing
Liu, YK; Wang, LH; Wang, XV; Xu, X; Zhang, L	Scheduling in cloud manufacturing: state-of-the-art and research challenges	152	138	TCM	Engineering, Manufacturing; Engineering Mechanical
Chugani, N; Kumar, V; Garza-Reyes, JA; Rocha-Lona, L; Upadhyay, A	Investigating the green impact of Lean, Six Sigma and Lean Six Sigma	94	114	Lean, Six Sigma e Lean Six Sigma	Engineering, Industrial; Management
Waterson, P; Robertson, MM; Cooke, NJ; Militello, L; Roth, E; Stanton, NA	Defining the methodological challenges and opportunities for an effective science of sociotechnical systems and safety	192	85	Teoria dos sistemas sociotécnicos (STS)	Engineering, Industrial; Ergonomics; Psychology, Applied; Psychology
Goerlandt, F; Khakzad, N; Reniers, G	Validity and validation of safety-related quantitative risk analysis: A review	96	81	A análise quantitativa de risco (QRA)	Engineering, Industrial; Operations Research & Management Science

Continuação Tabela 3

Du, L; Goerlandt, F; Kujala, P	Review and analysis of methods for assessing maritime waterway risk based on non-accident critical events detected from AIS data	121	63	Sistema de Identificação Automática (AIS).	Engineering, Industrial; Operations Research & Management Science
Torabi, M; Zhang, KL; Karimi, N; Peterson, GP	Entropy generation in thermal systems with solid structures - A concise review	141	59	Modelagem de não equilíbrio térmico local (LTNE)	Thermodynamics; Engineering, Mechanical; Mechanics
Salmon, PM; Hulme, A; Walker, GH; Waterson, P; Berber, E; Stanton, NA	The big picture on accident causation: A review, synthesis and meta-analysis of AcciMap studies	42	44	AcciMap	Engineering, Industrial; Operations Research & Management Science
Quatrini, E; Costantino, F; Di Gravio, G; Patriarca, R	Condition-Based Maintenance-An Extensive Literature Review	234	31	Análise Fatorial	Engineering, Electrical & Electronic; Engineering, Mechanical
Li, XB; Liu, XL; Yue, CX; Liang, SY; Wang, LH	Systematic review on tool breakage monitoring techniques in machining operations	175	21	TCM	Engineering, Manufacturing; Engineering, Mechanical

4. Conclusões

Esta revisão sistemática da literatura tem como objetivo a identificação de lacunas no conhecimento sobre Análise de Sistemas de Medição (MSA), e avaliar o estado da arte no assunto através de um processo replicável e transparente.

Este objetivou avaliar o estado da arte dos estudos R&R em MSA sob as perspectivas descritivas, bibliométricas e de conteúdo. Essas análises foram conduzidas para destacar tendências, métodos, impacto das publicações, acompanhamento de crescimento sobre o tema e os principais autores. Verificou-se, portanto, que os estudos foram aplicados em diversas áreas do conhecimento, porém com a predominância das áreas Industrial, Manufatura, e Mecânica. Observou-se também a relevância sobre o tema devido a recorrência de citações em outras áreas, por exemplo, a Psicologia e a Medicina.

Pode-se também verificar as possibilidades de avanço no tema no Brasil com seu baixo volume de pesquisas sobre o método R&R, bem como a utilização do método em áreas em ascensão como a “Indústria 5.0” que nos últimos anos vem sendo discutida e apontada como uma forma de “retorno ao humano” para os meios de produção.

Esta revisão da literatura possui as seguintes limitações. O título e os resumos obtidos na Triagem 1 foram insuficientes para revelar todas as características de um estudo, o que pode ter influenciado os artigos incluídos. Além disso, os resultados discutidos são generalizados, pois se trata de uma amostra da literatura existente. Estudos adicionais poderão explorar novos sistemas de produção, como a manufatura aditiva, a manufatura verde e sustentável, a produção mais limpa e as aplicações não manufatureiras, como os sistemas de serviços e de saúde.

Agradecimentos

Todos os autores agradecem a Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e a FAPEMIG o autor nº 1 agradece à FAPEMIG pela bolsa de mestrado concedida para incentivo à pesquisa, bolsa PAPG – Engenharia de produção nº 15514, ao CNPq e a Capes.

Referências

AIAG. 2010. Análise de sistemas de medição: Manual de referência, 4ª edição. **Chrysler Group LLC, Ford Motor Company e General Motors Corporation.**

DALALAH, Doraid; DIABAT, Ali. Repeatability and reproducibility in med labs: a procedure to measurement system analysis. **IET Science, Measurement & Technology**, v. 9, n. 7, p. 826-835, 2015.

DEV, Atul; JHA, Pankaj Kumar; PARKASH, Ved. Effect of automation on GRR in tactile measurement. **Mapan**, v. 33, p. 449-458, 2018.

GADIM, Hossein Gheshlaghi; DONIAVI, Ali. Improving structural properties of polymer fibers to design and construct fiber spinneret and optimize process parameters using response surface method and gage R&R. **Journal of Mechanical Science and Technology**, v. 32, p. 1135-1142, 2018.

GRANT, Eugene Lodewick; LEAVENWORTH, Richard S. **Statistical quality control.** 1980.

JURAN, Joseph M.; DE FEO, Joseph A. **Juran's quality handbook: the complete guide to performance excellence.** McGraw-Hill Education, 2010.

LACEY, Fiona M.; MATHESON, Lydia; JESSON, Jill. **Doing your literature review: Traditional and systematic techniques.** Doing Your Literature Review, p. 1-192, 2011.

MEJIA-PARRA, Daniel et al. **In-line dimensional inspection of warm-die forged revolution workpieces using 3D mesh reconstruction.** Applied Sciences, v. 9, n. 6, p. 1069, 2019.

MCLAIN, K. W., D. P. Bumblauskas, D. J. White, and D. D. Gransberg. 2018. Comparative analysis of repeatability and reproducibility of compaction testing. **Journal of Structural Integrity and Maintenance** 3 (2):106–13. doi:10.1080/24705314.2018.1461545.

MOHER, David et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **Annals of internal medicine**, v. 151, n. 4, p. 264-269, 2009.

PFADT, Ai; WHEELER, Donald J. Using statistical process control to make data-based clinical decisions. **Journal of applied behavior analysis**, v. 28, n. 3, p. 349-370, 1995.

TRANFIELD, David; DENYER, David; SMART, Palminder. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British journal of management**, v. 14, n. 3, p. 207-222, 2003.

WHEELER, Donald J. **Advanced topics in statistical process control.** 1995.

WHEELER, Donald J. Detecting a shift in process average: tables of the power function for X charts. **Journal of Quality Technology**, v. 15, n. 4, p. 155-170, 1983.

WEAVER, Brian P. et al. A Bayesian approach to the analysis of gauge R&R data. **Quality Engineering**, v. 24, n. 4, p. 486-500, 2012.

Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, Shamseer L, Tetzlaff JM, Akl EA, Brennan SE, Chou R, Glanville J, Grimshaw JM, Hróbjartsson A, Lalu MM, Li T, Loder EW, Mayo-Wilson E, McDonald S, McGuinness LA, Stewart LA, Thomas J, Tricco AC, Welch VA, Whiting P, Moher D. A declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas [The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas]. **Rev Panam Salud Publica**. 2022 Dec 30;46:e112. Portuguese. doi: 10.26633/RPSP.2022.112. PMID: 36601438; PMCID: PMC9798848.