



REALIDADE AUMENTADA E EFICIÊNCIA NA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

¹ Camila Rossi (SENAI CIMATEC) – camila.rossi29@hotmail.com; ² Alex Álisson Bandeira Santos (SENAI CIMATEC) – alex.santos@fieb.org.br; ³ Ingrid Winkler (SENAI CIMATEC) – ingrid.winkler@fieb.org.br; ⁴ Marinilda Lima (SENAI CIMATEC) – marinilda.lima@fieb.org.br;

Resumo: Este estudo teve por objetivo caracterizar, de maneira preliminar, a produção científica que aborda a relação entre o uso da Realidade Aumentada e a eficiência dos processos de Manutenção. A partir de uma revisão sistemática da literatura, foram inicialmente selecionados 44 artigos da base de dados *Science-Direct*. Os resultados revelaram que apenas 10 estudos apresentaram resultados mensuráveis que correspondem com indicadores de classe mundial da manutenção. Dessa amostra, todos os artigos quantificaram resultados em *Mean Time to Repair* (MTTR) e apenas 1 citou o indicador de custo em sua análise, demonstrando a necessidade de mais pesquisas nessa linha.

Palavras-Chaves: Realidade Aumentada; Manutenção; KPIs; Eficiência;

AUGMENTED REALITY AND EFFICIENCY IN INDUSTRIAL MAINTENANCE: A SYSTEMATIC REVIEW

Abstract: This study aimed to characterize, in a preliminary manner, the scientific production that addresses the relationship between the use of Augmented Reality and the efficiency of the Maintenance processes. From a systematic review of the literature, 44 articles were initially selected from the Science-Direct database. The results showed that only 10 studies presented measurable results that correspond with world-class maintenance indicators. From this sample, all articles quantified results in Mean Time to Repair (MTTR) and only 1 cited the cost indicator in their analysis, demonstrating the need for more research in this line.

Keywords: Augmented Reality; Maintenance; KPIs; Efficiency;



1. INTRODUÇÃO

A combinação do avanço de novas tecnologias e o aumento da concorrência global no mercado, iniciou uma transformação digital na indústria [1], a chamada Indústria 4.0. Dessa maneira, o desempenho e a competitividade das empresas dependem, cada dia mais, da confiabilidade e produtividade de suas instalações [2]. Nesse cenário, a manutenção compõe uma função crucial ao negócio, pois tem como missão “[...] garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço com confiabilidade, segurança e preservação do meio ambiente a custos adequados” [3].

O acompanhamento dos resultados da manutenção auxilia alcançar os níveis de performance desejados. Indicadores bem definidos podem ajudar na identificação de possíveis lacunas na implementação de novas estratégias de melhoria [2]. Os indicadores de classe mundial mais utilizados são principalmente: Tempo médio entre falhas (MTBF); Tempo médio para reparo (MTTR); Disponibilidade de Equipamento (EA); Custos de Manutenção por Faturamento (CMFR) [4].

Dentre as novas tecnologias que compõe a quarta revolução industrial, a Realidade Aumentada (RA) foi reconhecida como uma das principais [5]. RA é definida como um sistema que complementa o mundo real com objetos virtuais (gerados por computador) que parecem coexistir no mesmo espaço que o mundo real [6]. Seu potencial para apoiar aplicações industriais, incluindo a manutenção, já vem sendo estudado pela comunidade acadêmica [7]. Entretanto, ainda existem exemplos limitados de sua implementação concreta na indústria [8], que pode ser explicado pela falta de certeza em relação aos benefícios dessa tecnologia pelos seus usuários [9]. Por essa razão, um estudo [9] pesquisou e confirmou que os resultados de indicadores-chave de desempenho (KPIs) contribuem positivamente na percepção dos usuários sobre o uso de aplicações de RA.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é caracterizar, de maneira preliminar, a produção científica que aborda a relação entre o uso de Realidade Aumentada e a eficiência, de custo e disponibilidade, em processos de Manutenção. Para tanto, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (SLR), adotando a metodologia já validada em [8], que discutiu o estado da arte de aplicações em RA na manutenção, assim como os seus futuros desenvolvimentos.

Este trabalho é organizado em quatro seções: além desta Introdução, a seção 2 descreve a metodologia utilizada na investigação; a seção 3 aborda os resultados e discute-os e, finalmente, na seção 4 são realizadas as considerações finais.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada na investigação teve como base a investigação realizada por [8], tendo sido dividida em sete etapas, sendo Planejamento, Escopo, Pesquisa, Avaliação, Síntese, Análise e Redação dos Resultados.



Na etapa de Planejamento foi descrita a importância de informar a janela de tempo da pesquisa, as bases de dados utilizadas e o software de gerenciamento de referências [8]. Esta pesquisa analisou os estudos realizados no período entre 1995 e julho de 2018 na base de dados *Science-Direct* e teve como software de gerenciamento de referências o *Mendeley*.

Na definição do Escopo da pesquisa estabelecem-se as perguntas a serem respondidas a partir da revisão sistemática da literatura. Para tanto adota-se o método PICOC (do inglês *Population, Intervention, Comparison, Outcomes and Context*). Neste estudo, a População consiste em operações de manutenção realizadas por mantenedores; a Intervenção é o uso de Realidade Aumentada no apoio a essas operações; a Comparação da utilização de RA é efetuada com os métodos tradicionais, como instruções em papel, por exemplo; o Resultado é medido a partir dos indicadores de classe mundial anteriormente descritos: MTTR, MTBF, EA e CMFR; o Contexto é o ambiente industrial.

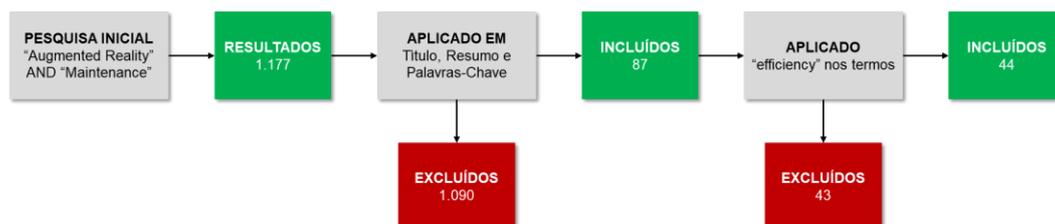
Por fim, as questões de pesquisa foram definidas como:

P1: Dos indicadores de classe mundial da manutenção [4], quais são os utilizados na literatura para mensurar o impacto do uso de RA na manutenção?

P2: Quais os impactos mensurados, segundo a literatura, do uso da Realidade Aumentada na manutenção?

Diante disso, para realização da pesquisa foi utilizada a *string* de busca (“*Augmented Reality*”) AND (“*Maintenance*”) na base de dados escolhida (*Science-Direct*). Inicialmente foram encontradas 1.177 publicações.

Figura 1. Processo de Seleção de Publicações



Ainda segundo a metodologia [8], na etapa de Avaliação a pesquisa inicial deve passar por critérios de exclusão (CE) e inclusão (CI). Estes critérios mantêm apenas as publicações relevantes para a revisão sistemática. Diante disso, a *string* de busca foi aplicada somente nos campos Título, Resumo e Palavras-chave dos 1.177 estudos encontrados, levando a que a amostra tenha sido reduzida para 87 pesquisas. Posteriormente, utilizando o termo “*efficiency*” nos termos da busca, a quantidade de publicações foi reduzida para 44 artigos. A Figura 1 ilustra os critérios adotados até o resultado de 44 artigos a serem analisados e discutidos nessa SLR.

O passo seguinte foi identificar critérios de qualidade (CQ) para fortalecer a extração de dados quantitativos e qualitativos para a Síntese e Análise de resultados



[8]. Vale ressaltar, que os critérios de qualidade não excluíram nenhum artigo dessa revisão, mas serviram como base de prioridade para maior detalhamento da discussão neste estudo. Os critérios de qualidade foram definidos como:

CQ1: O resultado do estudo é aplicável para casos de manutenção industrial.

CQ2: Resultados quantitativos foram fornecidos.

A partir desses critérios foram então selecionados 12 artigos considerados relevantes para esta revisão sistemática, pois, além de contemplarem estudos aplicados na área de manutenção, também descrevem resultados quantitativos que corroboram com a análise do impacto da Realidade Aumentada na manutenção.

Na etapa de Síntese, descreve-se como os artigos são agrupados para analisar tendências e responder às perguntas da pesquisa na etapa de análise e discussão dos resultados [8]. Os 44 artigos encontrados foram então categorizados por ano, comparativo, amostragem, indicador adotado para medir a eficiência da operação, indicador correspondente (MTTR, MTBF, EA e CMFR) e resultado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 2 descreve as principais características dos artigos obtidos.

Tabela 2. Extração de dados de 12 artigos prioritários para a SLR

ARTIGO	ANO	COMPARATIVO	AMOSTRAGEM	INDICADOR(ES)	KPI(S) CORRESPONDENTE(S)	RESULTADOS/COMENTÁRIOS
[13]	2006	Manual em Papel Vs. Manual em RA	16 estudantes técnicos	Cognitive Time and Error Rate	MTTR	40% de redução
[18]	2011	Métodos Tradicionais Vs. RA	28 participantes	Time Spent; Total number of transit instances to complete a work order	MTTR	45% de redução
[14]	2012	N/A	N/A	Task Duration; Error Rate	MTTR	15% de redução
[11]	2013	Manual em Vídeo Vs. Manual em RA	20 mantenedores com pelo menos 2 anos de experiência	Performance Time; Number of unsolved and solver errors	MTTR	4,5% de redução
[15]	2013	Manual em Papel Vs. Manual em RA	15 mantenedores	Mean time; Position Error	MTTR	50% de redução
[20]	2013	Manual em Papel Vs. Misto Vs Virtual	5 participantes	Operating Time	N/A	Tabela com sinal de impacto positivo, mas mensuração não relatada
[17]	2013	Manual em Papel Vs. Manual em RA	Estudantes de engenharia mecânica	Assembly time; quality of assembly	MTTR	17,22% de redução
[10]	2015	Manual em Papel Vs. Manual em RA	6 mecânicos	Task Duration	MTTR	9% de Aumento
[16]	2015	Manual em Papel Vs. Multimídia Vs RA	7 estudantes de engenharia	Assembly time; errors; and questions	MTTR	13% de redução, porém autor conclui que casos não podem ser comparados
[19]	2017	Manual em Papel Vs. Manual em RA	8 participantes sem experiência em manutenção	Completion Time of Maintenance Task; Time to Authoring	MTTR	50% de redução
[12]	2017	Manutenção in loco Vs. Manutenção Remota com RA	N/A	Cost; Time	MTTR/EA; CMFR	90% de redução de custo e 77,8% de redução de tempo.
[9]	2018	N/A	51 participantes	Reduction of Time and Errors (RTE)	N/A	Resultados dos indicadores selecionados eram com base na percepção do usuário



Dez estudos da amostragem apresentaram pelo menos um indicador correspondente de manutenção e o mais utilizado foi o MTTR. Dentre eles, apenas um estudo [10] apresentou resultado negativo ao comparar Realidade Aumentada com o uso tradicional de manual em papel. Entretanto, vale ressaltar que [10] citou as dificuldades de identificação da imagem e problemas no *touch screen* enfrentadas durante o experimento que poderia ter prejudicado o resultado final. Além disso, o estudo contou com seis mecânicos, onde o grupo utilizando Realidade Aumentada era composto por quatro participantes e o restante estava no experimento do método tradicional, o que implica em um tamanho de amostragem não representativa para concluir o impacto real do experimento.

Os 9 estudos que apresentaram um impacto positivo sobre uso de RA na manutenção obtiveram melhoria entre 4,5% até 77,8% no MTTR. Em [11] o método comparativo foi manual em vídeo, que geralmente já apresenta um benefício em relação ao manual em papel. Já em [12] o método compara uma manutenção *in loco* com manutenção remota e Realidade Aumentada. Antes da solução, um técnico deslocava-se até a planta industrial quando o equipamento entrava em falha, de forma que o tempo de deslocamento era o fator que mais impactava na indisponibilidade do equipamento, que chegava até 9 horas.

Em relação ao indicador CMFR, [12] foi o único artigo, nessa SLR, que comparou o custo do procedimento antes e depois da implementação da solução em RA. No estudo, o custo total do procedimento era de 1.370 euros e após implementada a solução, o mesmo passou a custar 150 euros, um impacto positivo de aproximadamente 90% no indicador. Porém, [12] não faz um paralelo do quanto isso representa percentualmente com o faturamento da empresa, o que caracteriza o indicador de CMFR.

Muitos estudos [9,11,13,14,15,16] abordaram o indicador de taxa de erros e a qualidade da manutenção [17] que ao serem utilizados em larga escala podem ter o potencial de contribuir positivamente com o indicador de MTBF e EA. Pois, ao se realizar uma manutenção com maior qualidade o equipamento pode levar mais tempo em uma condição de disponibilidade, diminuindo a probabilidade de falha.

Dois trabalhos [18,19], que tiveram o MTTR mensurado, mencionaram outros indicadores não abordados pelos demais trabalhos e que não correspondem a indicadores de classe mundial da manutenção. Em [18] o experimento foi medido, também, em relação ao número de movimentações para completar uma ordem de manutenção. Entretanto os resultados não mostraram que o protótipo em RA melhorou esse indicador efetivamente e o autor pontuou que os participantes não eram obrigados a utilizar o método proposto em toda a atividade “[...] *the subjects performed transit activities just to obtain O&M information, even though they could get the information remotely*”. Em [19] é mensurado o tempo despendido para criar conteúdo em Realidade Aumentada, que nesse caso pode ser feito pelos próprios usuários sem conhecimento prévio da tecnologia. A solução se mostrou quatro vezes mais rápida quando comparada ao *Vuforia* (software de criação em RA).

Em dois estudos [9,20] não foi possível associar um indicador correspondente aos de manutenção. Em [20] o autor expõe uma tabela que demonstra um sinal



positivo para o impacto de realidade mista no tempo de manutenção, entretanto não se quantifica esse valor, o que descaracteriza o que poderia ser a correspondência com o MTTR. Em [9] o autor propõe 13 KPIs para medição do impacto de RA na manutenção. Porém, o estudo enfoca a perspectiva dos usuários e sua avaliação subjetiva do uso do sistema, de forma que o resultado obtido para o indicador proposto, “*Reduction of Time and Errors (RTE)*”, que poderia ser equivalente ao MTTR, não pôde ser considerado. O indicador foi medido através da escala Likert de 7 pontos pelos próprios usuários. Todavia, o artigo explica que a aplicação desenvolvida tem o potencial de economizar tempo e custo.

Em suma, observou-se que apenas 10 artigos dos 44 resultados encontrados apresentam resultados quantitativos que obtiveram correspondência com indicadores de classe mundial da manutenção. Vale destacar que, dos 10 artigos, todos mensuram dados equivalentes ou próximos ao MTTR e apenas um mensurou dados equivalentes ou próximos a CMFR. É importante ressaltar que, com base na análise dos dados e como afirmado por [21], muitos estudos de RA ainda estão em provas de conceito (POC), o que é comum em tecnologias emergentes. Além disso, ainda existem diversas limitações tecnológicas em RA (autoria, *tracking*, *hardware*, *software*) como levantadas por [8], que podem contribuir para a demora no avanço de pesquisas que analisem em larga escala o impacto de RA na manutenção considerando seus principais indicadores.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Esse artigo teve como objetivo caracterizar, de maneira preliminar, a produção científica que aborda a relação entre o uso de Realidade Aumentada e a eficiência, de custo e disponibilidade, em processos de Manutenção.

Os resultados obtidos nesta SLR revelaram que o MTTR é o indicador mais utilizado para mensurar os impactos de RA na manutenção. Ao mensurar o impacto deste KPI, os resultados variam desde aumento no tempo médio entre falhas em 9% até sua diminuição em 77,8%. Já em relação ao indicador de CMFR, apenas um artigo mencionou o indicador em sua análise obtendo uma diminuição em 90% dos custos com uma aplicação de manutenção remota.

Por fim, observou-se a existência de lacunas e a necessidade de pesquisas que relacionem o impacto de Realidade Aumentada na Manutenção levando em consideração seus principais indicadores além do MTTR. Vale ressaltar, que esta SLR levou em consideração apenas a base de dados *Science-Direct* e o próximo passo é ampliar a investigação para outras bases, como *IEEE Explore* e *Scopus*.

5. REFERÊNCIAS



- ¹ LUNDRGREN, C.; SKOOGH, A.; BOKRANTZ, J. Quantifying the Effects of Maintenance – a Literature Review of Maintenance Models. **Procedia CIRP**, v. 00, p. 1305–1310, 2018.
- ² MUCHIRI, P. et al. Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. **International Journal of Production Economics**, v. 131, n. 1, p. 295–302, 2011.
- ³ KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda., 2001.
- ⁴ TAVARES, L. A. **Administração moderna da manutenção**. Rio de Janeiro: Novo Polo, 1999.
- ⁵ MASONI, R. et al. Supporting Remote Maintenance in Industry 4.0 through Augmented Reality. **Procedia Manufacturing**, v. 11, n. June, p. 1296–1302, 2017.
- ⁶ AZUMA, R. et al. Recent advances in augmented reality. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 21, n. 6, p. 34–37, 2001.
- ⁷ AZUMA, R. T. The Most Important Challenge Facing Augmented Reality. **Presence**, v. 25, n. 3, p. 234–238, 2016.
- ⁸ PALMARINI, R. et al. A systematic review of augmented reality applications in maintenance. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 49, n. March 2017, p. 215–228, 2018.
- ⁹ JETTER, J.; EIMECKE, J.; RESE, A. Augmented reality tools for industrial applications: What are potential key performance indicators and who benefits? **Computers in Human Behavior**, v. 87, n. April, p. 18–33, 2018.
- ¹⁰ PERDIKAKIS, A.; ARAYA, A.; KIRITSIS, D. Introducing Augmented Reality in Next Generation Industrial Learning Tools: A Case Study on Electric and Hybrid Vehicles. **Procedia Engineering**, v. 132, p. 251–258, 2015.
- ¹¹ WEBEL, S. et al. An augmented reality training platform for assembly and maintenance skills. **Robotics and Autonomous Systems**, v. 61, n. 4, p. 398–403, 2013.



¹² MOURTZIS, D.; ZOGOPOULOS, V.; VLACHOU, E. Augmented Reality Application to Support Remote Maintenance as a Service in the Robotics Industry. **Procedia CIRP**, v. 63, p. 46–51, 2017.

¹³ NIKOLIC, V.; ELZER, P. F.; VETTER, C. **A monitor-based AR system as a support tool for industrial maintenance BT - 4th IFAC Symposium on Mechatronic Systems, MX 2006, September 12, 2006 - September 14, 2006.** [s.l.] IFAC, 2006. v. 4.

¹⁴ NEE, A. Y. C. et al. Augmented reality applications in design and manufacturing. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 61, n. 2, p. 657–679, 2012.

¹⁵ GIMENO, J. et al. A new AR authoring tool using depth maps for industrial procedures. **Computers in Industry**, v. 64, n. 9, p. 1263–1271, 2013.

¹⁶ SUÁREZ-WARDEN, F. et al. Assembly Operations Aided by Augmented Reality: An Endeavour toward a Comparative Analysis. **Procedia Computer Science**, v. 75, n. Vare, p. 281–290, 2015.

¹⁷ RIOS, H. et al. A mobile solution to enhance training and execution of troubleshooting techniques of the engine air bleed system on boeing 737. **Procedia Computer Science**, v. 25, p. 161–170, 2013.

¹⁸ LEE, S.; AKIN, Ö. Augmented reality-based computational fieldwork support for equipment operations and maintenance. **Automation in Construction**, v. 20, n. 4, p. 338–352, 2011.

¹⁹ ERKOYUNCU, J. A. et al. Improving efficiency of industrial maintenance with context aware adaptive authoring in augmented reality. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 66, n. 1, p. 465–468, 2017.

²⁰ ESPÍNDOLA, D. B. et al. A model-based approach for data integration to improve maintenance management by mixed reality. **Computers in Industry**, v. 64, n. 4, p. 376–391, 2013.

²¹ CAMPBELL, M. et al. The State of Industrial Augmented Reality 2017. **Ptc**, 2017.