

TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DE PERDA DO TIPO MURA NAS MANUFATURAS ENXUTAS: UMA PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

MURA WASTE MEASUREMENT TECHNICS ON LEAN MANUFACTURING: A TECHNOLOGICAL PROSPECTION

ÁREA TEMÁTICA: Gestão de Operações e Logística (a)

Renato Toshio Onnoda, UFPR, BR, rt.onnoda@gmail.com

José Eduardo Pecora Junior, UFPR, BR, pecora@ufpr.br

Resumo

O estudo exploratório descrito neste trabalho tem como objetivo caracterizar o estado da arte, nos sistemas de medição e avaliação das perdas do tipo MURA em empresas de manufatura enxuta. Perda que segundo autores como Womack (2006) e Pienkovski (2014) seria uma perda prioritária, uma vez que junto com MURI (movimentos anti-naturais), causam os desperdícios para a produtividade: os MUDAs. Para isto foi realizado um levantamento sistemático da literatura científica disponível e softwares comerciais existentes. Os achados desta pesquisa indicam o uso comum de vídeo filmagens com análise humana posterior. De inovativo, foi verificado o uso de wearables e visão computacional nas perdas do tipo MURI e MUDA (os 7 desperdícios), porém sem sua extensão para as perdas do tipo MURA. Este permanecendo na análise humana realizado por períodos suficientes para gerar tratamentos estatísticos posteriores.

Palavras-chave: (Manufatura Enxuta; MURA; Visão Computacional; Tempo Ciclo; Sistema de Medição)

Abstract

This exploratory study aims to characterize the state of the art at MURA waste measurement systems in lean manufacturing companies. MURA (unevenness) with MURI (overburden) that cause the MUDA (7 losses) according to Womack (2006) and Pienkovski (2014) would be priority. So, this technological prospection, by systematic survey of the available scientific literature and existing commercial software in MURA waste was did. The findings of this research indicate the common use of video footage with further human analysis. Innovatively, it was verified the use of wearables and computer vision in the MURI and MUDA (the 7 wastes), but without its extension to the MURA type losses. This remaining in human analysis performed for sufficient periods to generate further statistical treatments.

Keywords: (Lean Manufacturing; MURA Waste; Computer Vision; Cycle Time; Measure system)

1. INTRODUÇÃO

MURA é definido como desnivelamento ou variabilidade do ritmo de trabalho na literatura sobre Sistema Toyota de Produção. E é um dos três inimigos da produtividade, junto com MURI (movimentos não ergonômicos, difíceis ou antinaturais) e MUDA (os 7 desperdícios), Shingo (1985) e Ohno (1988). Figura 1.



Figura 1 – Mura, Muri e Muda

Fonte: adaptado de <https://www.mudamasters.com/en/lean-production-theory/toyota-3m-model-muda-mura-muri>

Entretanto, para Womack (2006), o MURA seria prioridade no combate aos desperdícios uma vez que é uma das causas do MURI e MUDA. Corroborado por Pienkovski (2014), onde afirma que a eliminação do MURA é um dos principais desafios para as organizações enxutas, pois é causa dos outros desperdícios conforme Figura 2.

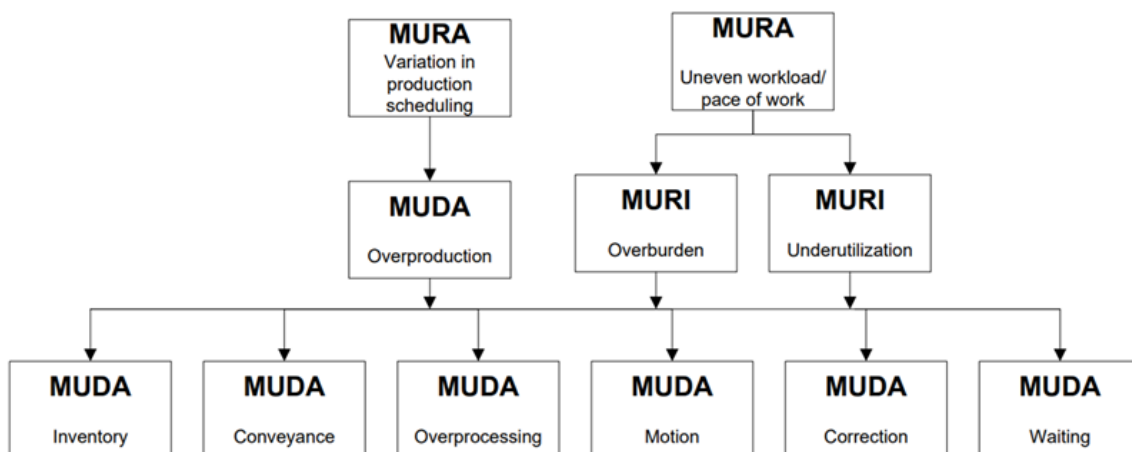


Figura 2 – MURA como causa dos demais desperdícios

Fonte: Pienkovski (2014)

Porém, embora o MURA junto com o MURI tenham um papel fundamental na condução das melhorias na manufatura, a ocorrência de artigos publicados como exemplo de priorização para

seu tratamento, se mostra incipiente. Os artigos levantados por strings que combinam estes termos e o Sistema Toyota de Produção é predominantemente sobre MUDA., Gráfico 1 abaixo.

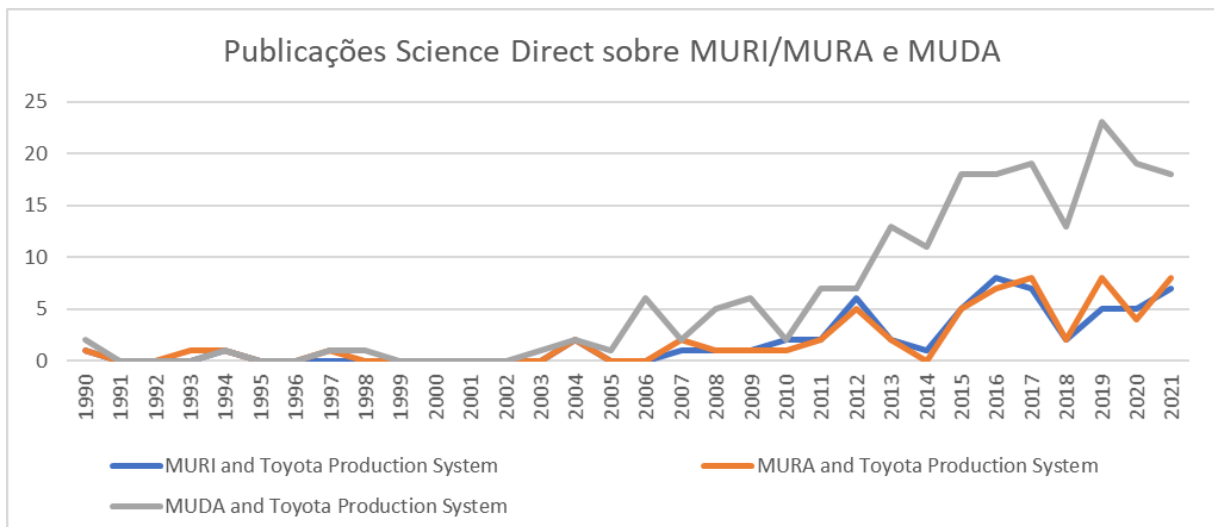


Gráfico 1 – Quantidades de Publicações sobre MURI, MURA e MUDA

Fonte: os autores

O MUDA ou os 7 desperdícios identificados inicialmente estão presentes na maioria das publicações a respeito do Sistema Toyota de produção. Como a parte mais visível das perdas inerentes a uma manufatura não otimizada. Atraindo assim a maior parte das publicações científicas levantadas. Já o MURI ou movimentos anti naturais, se associados a palavra chave ergonomia, disparam na quantidade de ocorrências. Inclusive, as ocorrências de MURA estão pareadas com o termo MURI, pois se tratam de publicações que tratam os três termos em conjunto. Este aparente desinteresse científico sobre esta perda fundamental, pode ser explicada pela dificuldade de observação deste fenômeno, segundo Yamashina (2008), “sem uma observação atenciosa e prolongada, este fenômeno não pode ser identificado apropriadamente”. E quando se trata de identificação do fenômeno de quebra de ritmo, ou variações do tempo ciclo de uma atividade, pode-se verificar em publicações como a de Assaf (2015) e Alsaffar (2018), esta dificuldade prática de medição. Para se obter um enquadramento do fenômeno, estes autores usam cartas de controle de valores individuais do tempo ciclo, tomando tempos de vários ciclos de uma atividade. Observações prolongadas, para se identificar os pontos fora da normalidade estatística para posteriormente estabelecer as causas destas variações e identificação dos pontos de melhoria.

Desta forma, o presente trabalho busca levantar o estado da arte em termos de sistemas de medição do tempo ciclo de uma atividade, capazes de serem precisos e contínuos o suficiente para identificação do fenômeno MURA. E para isto, foi realizado um levantamento sistemático das publicações científicas em 7 diferentes bases de pesquisas e um levantamento em softwares comerciais aplicados em medições de chão de fábrica. Detalhes de cada um destes passos são relatados na sequência.

2. REVISÃO DAS PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS

Para determinar o estado da arte pelo aspecto acadêmico, foi realizado um levantamento de artigos científicos publicados nas bases: Science Direct, Emerald, Scopus, Web of Science, Willey, Taylor and Francis e I3explore. Utilizando-se de strings de pesquisa que combinaram duas grandes áreas de concentração. A da produção enxuta com data de corte em 1950, origem do sistema lean e a da Indústria 4.0, com corte em 2012, conforme figura 3.

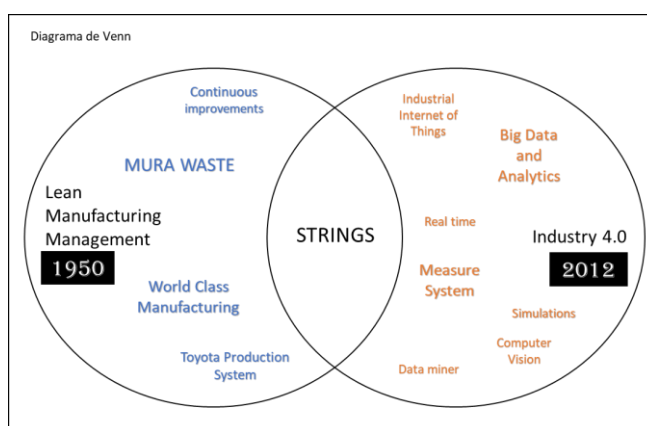


Figura 3 – Palavras Chaves utilizadas para levantamento bibliográfico

Fonte: os autores

As strings foram aplicadas inicialmente nas bases, resultaram em 2149 artigos. Conforme tabela 1 abaixo.

String de pesquisa	Science Direct	Emerald Insights	Scopus	I3explore	Wiley	Web of Science	Taylor & Francis	TOTAL
"MURA WASTE MEASURE SYSTEM"	0	0	0	0	0	0	0	0
"MURA WASTE"	3	0	1	8	1	1	1	15
"WCM" AND "MURA"	13	4	0	1	10	0	0	28
"MURA" AND "INDUSTRY 4.0"	51	13	1	3	2	1	4	75
"BIG DATA" AND "LEAN MANUFACTURING"	72	48	2	2	11	2	4	141
"BIG DATA" AND "MURA"	135	32	9	1	7	1	4	189
"ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND "LEAN PRODUCTION"	170	166	30	19	76	5	15	481
"ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND "MURA"	204	193	14	41	21	10	29	512
"COMPUTER VISION" AND "INDUSTRY 4.0"	470	62	100	75	0	1	0	708
TOTAL	1118	518	157	150	128	21	57	2149

Tabela 1 – Strings e Bases de Pesquisa

Fonte: os autores

Destes 2149 artigos iniciais, foram eliminados 279 artigos por se encontrarem duplicados entre as bases de pesquisa consultadas. Resultando em 1870 publicações para refino por título.

Títulos que não remetiam a indústria de manufatura ou células de manufatura, tais como ramo hoteleiro e turismo, serviços de saúde, laboratórios, ou ainda setores específicos como manutenção, cadeia de suprimentos, entre outros, foram eliminados. Restando 239 artigos que foram ordenados por ano de publicação e números de citações.

Dado a natureza inovativa do presente trabalho, foram avaliados o número de citações ponderando-se a data de publicação dos artigos. Publicações realizadas nos últimos 5 anos, foram consideradas todas. Anteriores até 10 anos, foram consideradas somente as que tinham número de citações acima da mediana (terceiro e quarto quartil). E anteriores a 2010, somente as publicações no quarto quartil. Restando assim 173 artigos para uma análise mais detalhadas sobre seus resumos.

Da fase do refino pelos resumos, uma grande parte destes, o termo MURA se referiam a um tipo de defeito específico na fabricação de telas LCD. Outra grande parte as publicações se referiram a aplicação de realidade aumentada para controle de qualidade, ou ainda o uso da “big data analytics” para programação fabril. Além destes, também se apresentaram em grande número estudos que fornecem panoramas gerais da evolução da indústria 4.0 e a manufatura enxuta neste contexto. Eliminados os trabalhos similares ao intuito desta da proposta desta última categoria, resultou-se em 15 obras alinhados ao objeto de pesquisa.

Da leitura do texto completo dos artigos refinados anteriormente, destacam-se 7, conforme tabela 2 abaixo.

Título	Autores	Ano de Publicação
Innovative system for real-time ergonomic feedback in industrial manufacturing	Nicolas Vignais Markus Miezal Gabriele Bleser Katharina Mura Dominic Gorecky Frédéric Marin	2013
WASTE MEASUREMENT TECHNIQUES FOR LEAN COMPANIES	Maciej Pieńkowski	2014
Utilizing Lean Six Sigma to Improve Material Handling Operations in the Production of Heavy Duty Engines at Volvo Powertrain	MAJEED ASSAF PATRIK JUKIC	2015
How to analyse the workers' experience in integrated product-process design	Margherita Peruzzini Fabio Grandi, Marcello Pellicciari	2018
Automatic assessment of the ergonomic risk for manual manufacturing and assembly activities through optical motion capture technology	Marco Bortolini Mauro Gamberi Francesco Pilati Alberto Regattieri	2018
Integration of Lean Six Sigma and Ergonomics: A Proposed Model Combining Mura Waste and a RULA Tool to Examine Assembly Workstations	I Alsaffar H Ketan	2018
Human Factor Analyser for work measurement of manual manufacturing and assembly processes	Maurizio Faccio Emilio Ferrari Mauro Gamberi Francesco Pilati	2019

Tabela 2 – Trabalhos correlatos

Fonte: os autores

Em termos de sistemas de medição de perda do tipo MURA, os trabalhos publicados utilizam-se de observação e análise sobre filmagens, ou observação direta e de cronometragem.

Consideram-se correlatos a este, pelo foco dado ao tipo de perda de quebra de ritmo. Sua detecção, o uso de cartas de controle e sua relevância perante as outras perdas. Figura 4 abaixo.

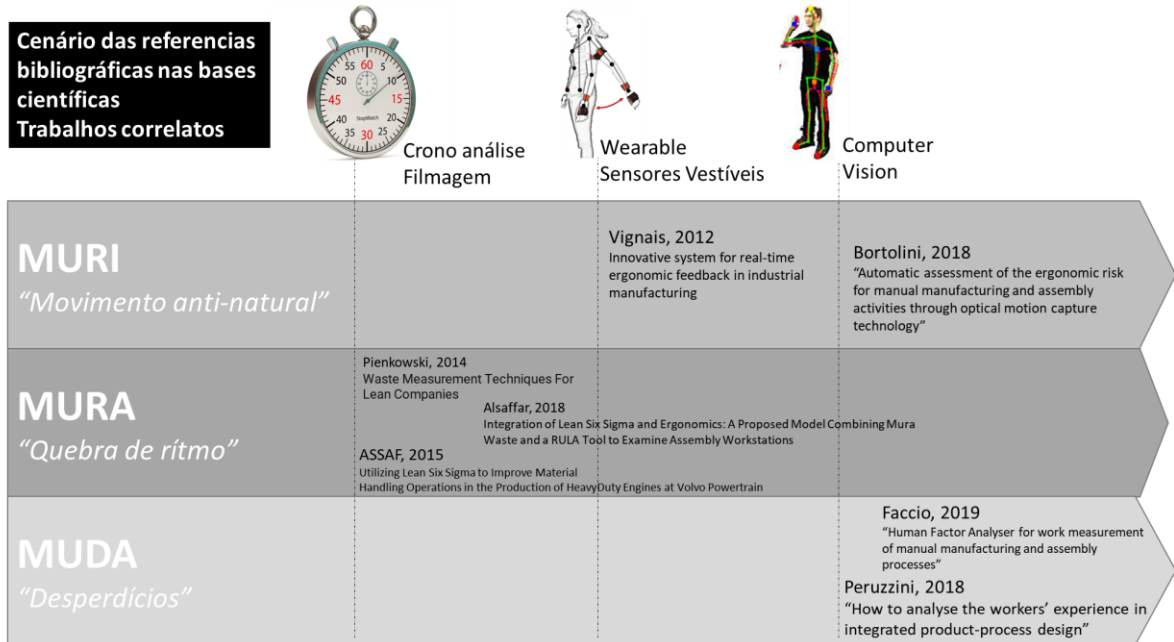


Figura 4 – Trabalhos correlatos sistemas de medição

Fonte: os autores

Se observarmos os sistemas de medição utilizados englobando as perdas do tipo MURI, e das MUDAs, observa-se a introdução de wearables e a visão computacional. Destas duas tecnologias, os wearables (ou vestíveis) derivado de tecnologias de "motion capture" ou captura de movimento mais associados a movimentos anti ergnômicos ou MURI. Figura 5. E a visão computacional uma vertente promissora, utilizado além da ergonomia na célula produtiva, Figura 6 como relatado no trabalho de Bortolini et al (2018), também alicada para detecção e separação dos tempos de valor agregado e valor não agregado dos operadores no trabalho de Faccio et al (2019), Figura 7.

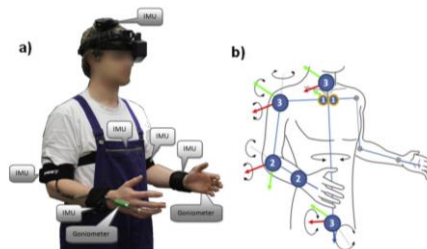


Figura 5 – Captura de movimentos de operadores por wearables

Fonte: Vignais et al (2012)

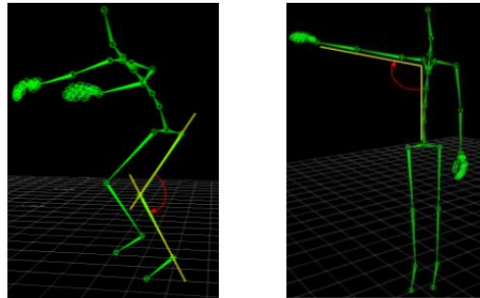


Figura 6 – Captura de movimentos de operadores por visão computacional

Fonte: Bortolini et al (2018)

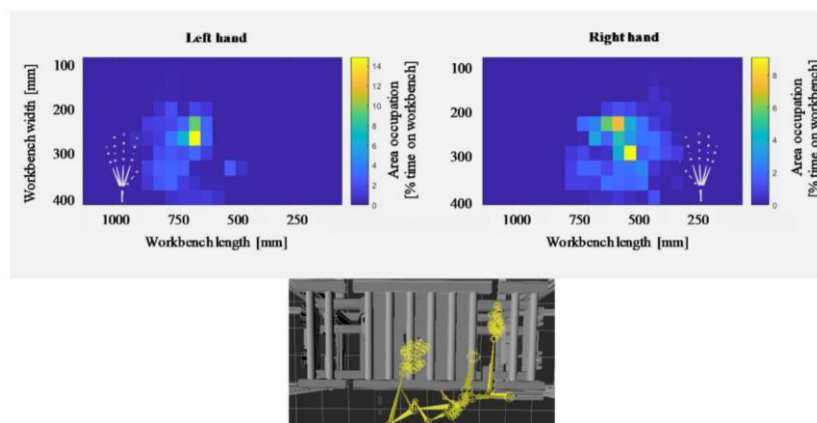


Figura 7 – Human Factor Analyser, posições das mãos no posto de trabalho

Fonte: Faccio et al (2019)

Embora os trabalhos de Pienkovski (2014), Assaf (2015) e Alssafar (2018) tenham atestado a importância da perda tipo MURA, o desenvolvimento de tecnologias de captura do movimento seja por wearables ou visão computacional, e um desdobramento na avaliação do ciclo tempo ainda ocorrem pela busca das duas outras perdas: a do MURI e MUDA. Dentre eles, a utilização de visão computacional com seu reconhecimento do corpo humano e sua estimativa de posição de esqueleto se mostra mais promissora pelo cenário das publicações acadêmicas levantadas.

3. SOFTWARES COMERCIAIS

Já no cenário de softwares comerciais o panorama verificado é o mesmo das publicações científicas. A busca de MURI e o MUDA são as vertentes mais significativas. Através de uma pesquisa diretamente sobre indústrias e outras consultas diretas a respeito de cronoanálise, captura de movimentos, atividades dos postos de fabricação, os seguintes produtos: o AVIX, o Timer Pro, ViveLab e VISAFE foram destacados.

Sendo que os dois primeiros focados no estudo de tempos e procuram classificar os tempos do ciclo em atividades que agregam valor e desperdícios, Figura 8 e 9. Embora em ambos os casos,

estes são baseados em análise sobre filmagem do posto e análise humana para classificação destes. Já o segundo grupo, o ViveLAB e o VISAFE possuem tecnologias de visão computacional e wearable, porém com enfoque sobre ergonomia, Figura 10.

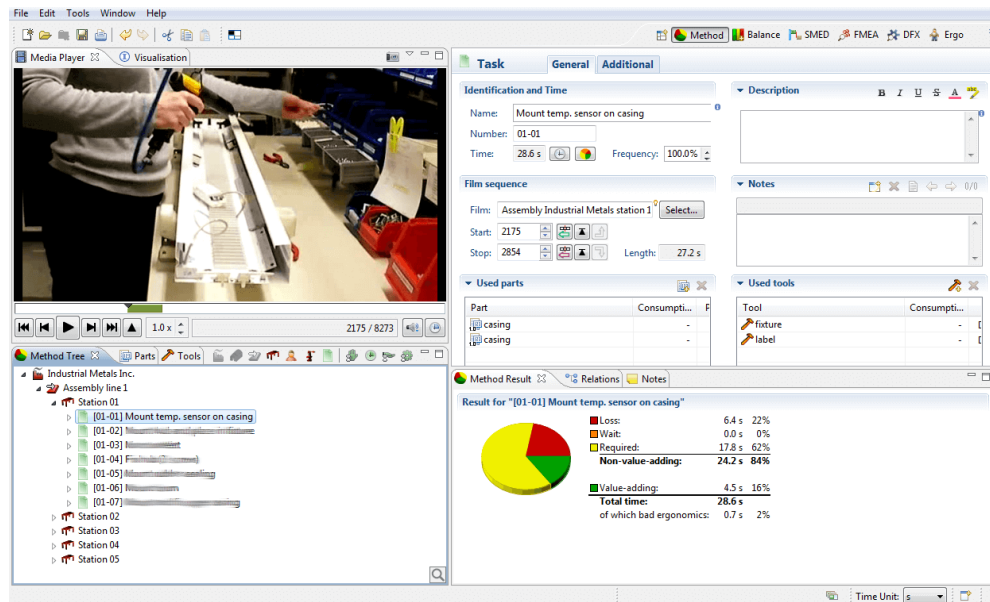


Figura 8 – Tela de análise e apontamento do ciclo de trabalho

Fonte: <https://www.asseco-ceit.com/en/products/avix/>

The advertisement for 'TIMER PRO professional' includes the following text:

Timer Pro's Time Study module is compatible with the Apple iPad and Android Tablets and Smartphones.

TIMER PRO
professional

App para crono análise na observação direta do posto. Ou análise de filmagem do posto de trabalho

TIMER PRO
professional

Video-based
Rapid Time Study,
Operator Training,
Lean, Kaizen,
SMED and 5S

Figura 9 – Aplicativo de crono análise com segregação dos tipos de movimen

Fonte: ACSCO.com

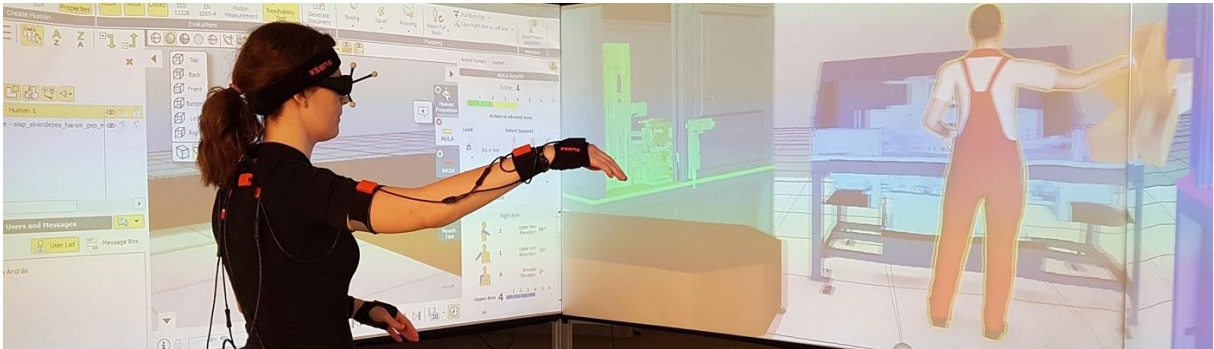


Figura 10 – Motion capture por uso de Weareables

Fonte: <https://tracklab.com.au/>

Desta forma, verifica-se que os softwares comerciais também são impulsionados para busca do MURI ou movimentos anti ergonômicos e MUDAs ou desperdícios. Sendo que as análises de tempo ciclo e suas variações, o MURA, ainda dependem de uma cronometragem direta ou através de vídeo gravações de muitos ciclos produtivos, para posterior compilações em cartas de controle usando softwares estatísticos complementares como o Minitab. Exemplificado nas publicações de Assaf (2015) e Alssafar (2018).

4. CONCLUSÕES

Da manufatura enxuta os três inimigos da produtividade são o MURI, MURA e MUDA. Destes os MUDAs são os mais visíveis e que puxam publicações e softwares para sua identificação e quantificação. Exemplos são encontrados nos softwares comerciais e também em sistemas inovativos com aplicação de visão computacional, como a de análise do fator humano proposto por Faccio et al (2019).

Já os MURIs (movimentos difíceis e anti naturais) também puxam desenvolvimentos de métodos de identificação e quantificação como a aplicação de wearables e visão computacional, auxiliando nos esforços de melhoria da ergonomia dos postos de fabricação.

Porém, o MURA (quebra de ritmo) não houve registro de avanços sobre formas de detecção deste fenômeno nas publicações científicas e nem nos softwares comerciais levantados neste estudo. Isto pode ser justificado, pois a detecção de quebras de ritmo, ou variações anômalas estatisticamente, exigem observações mais prolongadas, de vários ciclos repetitivos. Sistemas que possam obter o tempo ciclo de forma mais automatizada, sejam baseados em visão computacional, wearables, entre outros sensores, podem ser a saída para esta identificação e caracterização.

Desta forma, conclui-se que o desenvolvimento tecnológico de detecção de perdas inserido das empresas de manufatura enxuta até o momento, ainda enfocam os MURI puxados pela ergonomia dos postos de trabalho ou pelos 7 desperdícios ou MUDAs. Sendo MURA ainda se caracteriza como uma lacuna olhando-se pela ótica de sistemas de medições do fator humano no chão de fábrica.

REFERÊNCIAS

- Alsaffar, Ketan, H. “Integration of Lean Six Sigma and Ergonomics: A Proposed Model Combining Mura Waste and a RULA Tool to Examine Assembly Workstations”, 2nd International Conference on Engineering Sciences, 2018.
- Assaf, M. “Utilizing Lean Six Sigma to Improve Material Handling Operations in the Production of Heavy- Duty Engines at Volvo Powertrain”, Master of Science Thesis in the Quality and Operations Management Master’s Program (Department of Technology Management and Economics Chalmers University of Technology Gothenburg, Sweden), 2015.
- Bortolini, M.; Faccio, M.; Ferrari, E.; Gamberi, M.; Pilati, F. “Analysis System (MAS) for production and ergonomics assessment in the manufacturing processes”, *Comput Ind Eng*, [in press]. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.10.046>, 2018.
- Bortolini, M.; Gamberi, M.; Pilati, F.; Regattieri, A. “Automatic assessment of the ergonomic risk for manual manufacturing and assembly activities through optical motion capture technology”. *Procedia CIRP*, Volume 72, Pages 81-86, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.198>. 2018.
- Faccio, M.; Ferrari, E.; Gamberi, M.; Pilati, F. “Human Factor Analyser for work measurement of manual manufacturing and assembly processes”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103:861–877, 2019.
- Peruzzini, M.; Grandi, M.; Pellicciari, M. “How to analyse the workers’ experience in integrated product-process design”. *Journal of Industrial Information Integration*, Volume 12, Pages 31-46, ISSN 2452-414X, 2018.
- Pienkovski, M. “Waste Measurement Techniques for Lean Companies”. *International Journal of Lean Thinking* vol 3 pp 890 – 897, 2014.
- Shingo, S. *O Sistema Toyota de Produção – Do ponto de vista da engenharia de produção*. Ed. Bookman: Porto Alegre, 1996.
- Vignais, N.; Miezal, M.; Bleser, G.; Mura, K.; Gorecky, D.; Marin, F. “Innovative system for real-time ergonomic feedback in industrial manufacturing”. *Applied Ergonomics Journal* - 44, 566e574, 2013.
- Womack, J. Mura, Muri, Muda? Lean Enterprise Institute. Disponível em https://www.lean.org.br/comunidade/artigos/pdf/artigo_350.pdf , 2006.
- Womack, J. P.; Jones, D. T. Ross, D. “A máquina que mudou o mundo”. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004.
- Yamashina, H. “Workplace Organization Pillar”. Material de treinamento WCM – FIASA, arquivo ppt, Curitiba, 2008.