

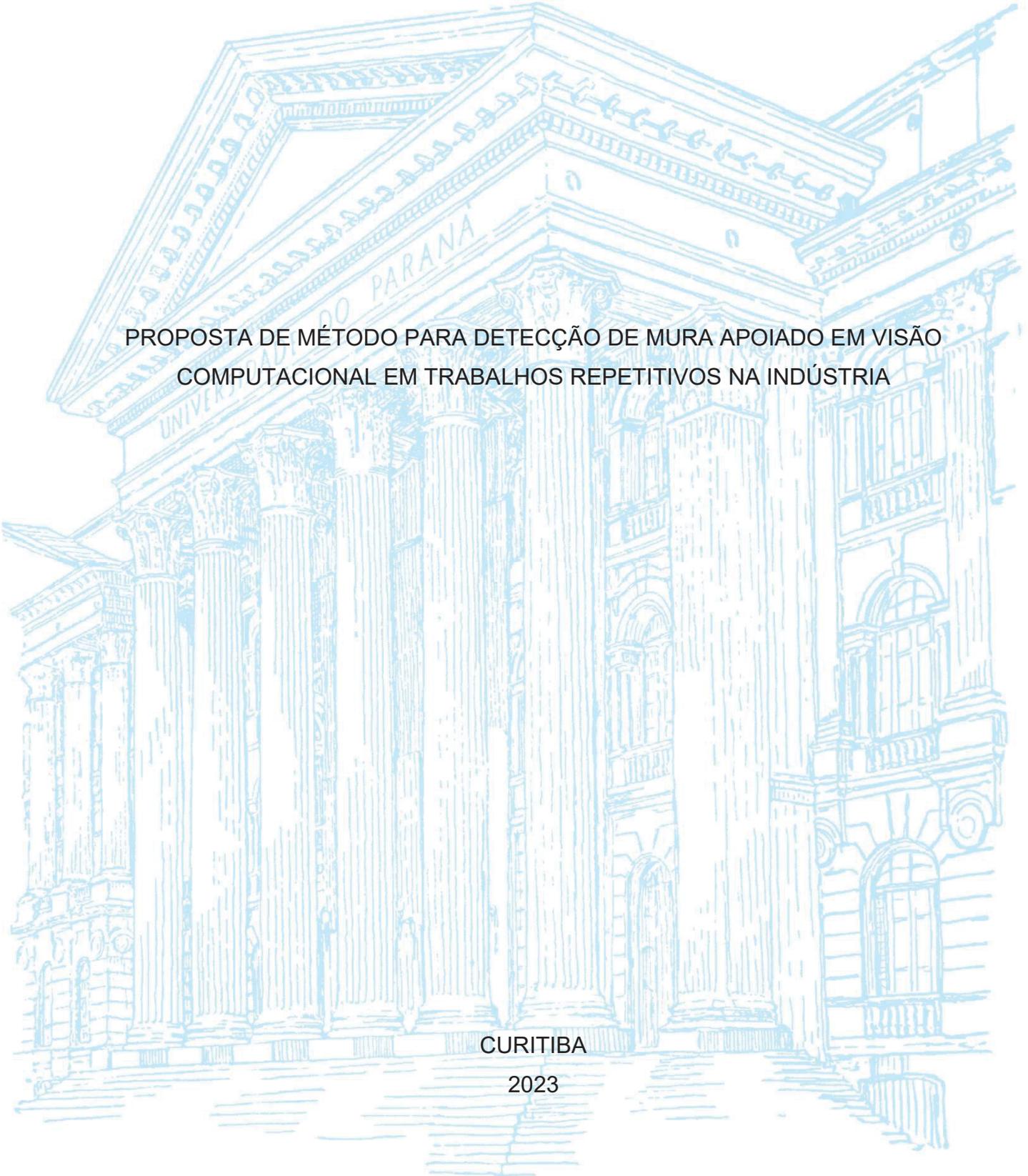
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RENATO TOSHIRO ONNODA

PROPOSTA DE MÉTODO PARA DETECÇÃO DE MURA APOIADO EM VISÃO
COMPUTACIONAL EM TRABALHOS REPETITIVOS NA INDÚSTRIA

CURITIBA

2023



RENATO TOSHIRO ONNODA

PROPOSTA DE MÉTODO PARA DETECÇÃO DE MURA APOIADO EM VISÃO
COMPUTACIONAL EM TRABALHOS REPETITIVOS NA INDÚSTRIA

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Gestão de Organizações, Liderança e Decisão, área de concentração em Operações e Sistemas de Decisão, Departamento de Administração, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Gestão de Organizações, Liderança e Decisão.

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Pécora Jr

CURITIBA

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS

Onnoda, Renato Toshiro

Proposta de método para detecção de mura apoiado em visão computacional em trabalhos repetitivos na indústria / Renato Toshiro Onnoda. – Curitiba, 2023.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Programa de Pós-Graduação em Gestão de Organizações, Liderança e Decisão.

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Pécora Junior.

1. Sistemas de produção. 2. Força de trabalho - Produtividade. 3. Controle de processo. 4. Produção Enxuta. I. Pécora Junior, José Eduardo. II. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Gestão de Organizações, Liderança e Decisão. III. Título.

Bibliotecária: Maria Lidiane Herculano Graciosa CRB-9/2008



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO GESTÃO DE
ORGANIZAÇÕES, LIDERANÇA E DECISÃO - 40001016172P9

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação GESTÃO DE ORGANIZAÇÕES, LIDERANÇA E DECISÃO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **RENATO TOSHIRO ONNODA** intitulada: **PROPOSTA DE MÉTODO PARA DETECÇÃO DE MURA APOIADO EM VISÃO COMPUTACIONAL EM TRABALHOS REPETITIVOS NA INDÚSTRIA**, sob orientação do Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO PÉCORA JUNIOR, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 28 de Julho de 2023.

Assinatura Eletrônica

31/07/2023 08:47:31.0

JOSÉ EDUARDO PÉCORA JUNIOR

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

31/07/2023 11:45:42.0

INGRID WINKLER

Avaliador Externo (CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC)

Assinatura Eletrônica

31/07/2023 10:23:43.0

MARCIO FONTANA CATAPAN

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ- CURITIBA)

Avenida Prefeito Lothario Meissner, 632 - CURITIBA - Paraná - Brasil

CEP 80210-170 - Tel: (41) 3360-4464 - E-mail: ppgold@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 301641

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://siga.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 301641

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os apaixonados por tecnologia que buscam incessantemente o seu uso e aplicação para a construção de um mundo melhor e mais humano.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. José Eduardo Pécora Jr. pela orientação ao longo de todo o percurso que resultou neste trabalho.

A Professora Dra. Ingrid Winkler e ao Professor Dr. Marcio Catapan, pelas precisas contribuições e correções realizadas no percurso das avaliações deste projeto.

À empresa RJ Virtua, nas pessoas de Rafael Eduardo Gomes e Jacqueline Nascimento, por todo apoio técnico necessário ao desenvolvimento deste.

À todas as empresas que possibilitaram o acesso as suas instalações e postos de trabalho para a realização deste estudo.

A todos os demais professores do curso que em cada fase lançaram os desafios de aprendizado que compuseram a formação deste.

A todos os colegas do curso pelo ambiente respeitoso, colaborativo de aprendizado construído.

Aos meus familiares base e refúgio de todo o nosso percurso de vida.

A Deus que através de sua infinita sabedoria nos guia a todo momento nesta trama da vida.

EPIGRAFE

Se o conhecimento pode criar problemas, não é através da ignorância que podemos solucioná-los. (Isaac Asimov, 1920~1992)

RESUMO

O MURA ou quebra de ritmo encontra-se como uma perda base do Sistema Toyota de Produção. Este estudo exploratório têm como objetivo propor um método inovativo de aplicação da visão computacional para detecção desta perda fundamental. Iniciou-se por uma prospecção tecnológica em bases de publicações científicas, patentes e softwares comerciais. Seguido por três estudos de caso e a aplicação de um método de detecção proposta no presente trabalho. O principal achado desta pesquisa é que o monitoramento constante do intervalo entre dois produtos sequencialmente produzidos em uma estação de trabalho pode revelar e quantificar grandes perdas (como ausências ou paralizações do posto de trabalho) e perdas escondidas nos ciclos contínuos de trabalho (como fadiga, micro paradas e eventos de deslocamentos irregulares). Fornecendo assim um panorama detalhado, quantificado e hierarquizado para direcionar os esforços de melhoria da produtividade dos postos de trabalho assim medidos.

Palavras-chave: Sistema de medição de MURA, Visão computacional, Produtividade, Posto de trabalho, Melhoria Contínua, *Produção Enxuta*, Indústria 4.0

ABSTRACT

MURA waste or unevenness is one of the three enemy of production for the Toyota Production System. This exploratory study aims to propose an innovative method of applying computer vision to detect this fundamental loss. It began with a technological prospection based on scientific publications, patents, and commercial software. Followed by three case studies and the application of a detection method proposed in the present work. The main finding of this research is that constant monitoring of the interval between two products sequentially produced at a workstation can reveal and quantify large losses (such as absences or work stoppages) and hidden losses in continuous work cycles (such as fatigue, minor stoppages, and irregular displacement events). Thus providing a detailed, quantified and hierarchical overview to direct efforts to improve the productivity of the jobs measured at this way.

Keywords: MURA waste measure system, Computer Vision, Productivity, Workplace Organization, Continuous Improvement, Lean Production, Industry 4.0.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – MURA, MUDA e MURI.....	16
FIGURA 2 – MURA como causa dos demais desperdícios	18
FIGURA 3 – Protocolo de Pesquisa	21
FIGURA 4 – <i>Wearables</i> para Captura dos Movimentos do Operador.....	24
FIGURA 5 – Configuração de Captura de Movimentos, identificação de Esqueleto e Monitoramento das Condições Ergonômicas.....	24
FIGURA 6 – Tecnologia para Avaliação dos Movimentos do Operador.....	25
FIGURA 7 – Interface de Análise do <i>Human Factor Analyser</i>	26
FIGURA 8 – Análise de Deslocamentos e Permanência do Colaborador no Posto..	26
FIGURA 9 – HFA Movimento das Mãos em uma Bancada de Trabalho.....	27
FIGURA 10 – <i>Motion Capture</i> por uso de <i>Wearables</i>	28
FIGURA 11 – Tela de Análise e Apontamentos do Ciclo de Trabalho	29
FIGURA 12 – Aplicativo de Crono Análise com Segregação dos Tipos de Movimentos.....	30
FIGURA 13 – Trabalhos Correlatos	36
FIGURA 14 – Marcação do Tempo Ciclo de uma Atividade Repetitiva.....	37
FIGURA 15 – Identificação de <i>Outliers</i> dos Tempos de Ciclo do Processo	38
FIGURA 16 – Desdobramentos do fenômeno MURA	40
FIGURA 17 – Identificação de Pessoas e seu Posicionamento na Cena	41
FIGURA 18 – Detecção de Pessoas em Regiões de Interesse	42
FIGURA 19 – Detecção de Objetos em Regiões de Interesse.....	42
FIGURA 20 – Condições tipo “E” para Marcação de Ciclo de Atividade Rotineira....	43
FIGURA 21 – Fluxo da Empresa Estudada 1.....	45
FIGURA 22 – Estudo de Caso 1 – Condição de Marcação do Ciclo.....	46
FIGURA 23 – Fluxo da Empresa Estudada 2.....	48
FIGURA 24 – Estudo de Caso 2 – Atividades do Posto Analisado	49
FIGURA 25 – Estudo de Caso 2 – Condição de Marcação do Ciclo.....	49
FIGURA 26 – Fluxo da Empresa Estudada 3.....	52
FIGURA 27 – Estudo de Caso 3 – Atividades do Posto Analisado	53
FIGURA 28 – Estudo de Caso 3 – Condição de Marcação do Ciclo.....	53
FIGURA 29 – Limitação do Sistema por Visão Computacional.....	58
FIGURA 30 – Exemplo de Ato de Reflexo	61

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Quantidade de Publicações sobre Muri, Mura e Muda	17
GRÁFICO 2 – HFA, Componentes do Tempo Ciclo Resultantes da Medição	27
GRÁFICO 3 – Carta de Controle Estatístico de Valores Individuais	47
GRÁFICO 4 e 5 – Tempo de Permanência do Operador no Posto	50
GRÁFICO 6 – Estudo de caso 2 - Tempo de Pega e Entrega das Peças no Carrinho	51
GRÁFICO 7 – Estudo de caso 2 - Tempo das Dobras.....	51
GRÁFICO 8 – Estudo de caso 3 – Classificação do Tempo Monitorado	54
GRÁFICO 9 – Estudo de caso 3 – Tempo Ciclo Atividade.....	54

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Patentes de Visão Computacional que Integram Pessoas e Objetos.	31
QUADRO 2 – Resultado da Busca de Acordo com a <i>String</i> Utilizada.....	34
QUADRO 3 – Artigos Agrupados por Ano de Publicações e Classificados por Número de Citações	35
QUADRO 4 – Resumo dos Resultados Obtidos pelo Método Proposto	56

LISTA DE DIAGRAMAS

DIAGRAMA 1 – Resultantes da Consulta de Patentes	31
DIAGRAMA 2 – <i>Strings</i> de Pesquisa	34

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

HFA	- <i>Human Factor Analyser</i>
ROI	- <i>Region Of Interest</i>
WCM	- <i>World Class Manufacturing</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

® - marca registrada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 CONTEXTO	16
1.2 TEMA	19
1.3 JUSTIFICATIVA	19
1.4 OBJETIVOS	19
1.4.1 Geral.....	19
1.4.2 Objetivos específicos.....	19
1.5 DELIMITAÇÕES	20
1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	20
1.7 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	21
2 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA	23
2.1 REVISÃO DAS PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS	23
2.2 LEVANTAMENTO DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO EM SOFTWARES COMERCIAIS.....	28
2.3 LEVANTAMENTO DE REGISTROS DE PATENTES	30
3 METODOLOGIA	33
3.1 PROCEDIMENTO PARA O LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	33
3.2 PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DE DADOS OBTIDOS.....	37
3.3 PROCEDIMENTO DO ESTUDO MULTI CASO	39
4 DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO DE DETECÇÃO DE MURA	41
5 ESTUDO DE MULTIPLOS CASOS	45
5.1 ESTAÇÃO DE CONFERÊNCIA E EMBALAGEM PARA <i>E-COMMERCE</i>	45
5.2 ESTAÇÃO DE DOBRAS DE PEÇAS METÁLICAS.....	48
5.3 ESTAÇÃO FINAL DE MONTAGEM DE ELETROPORTÁTEIS.....	52
6 ANÁLISE DE RESULTADOS	56
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	60
8 REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo introdutório apresenta-se a contextualização do tema de pesquisa seguido pelas justificativas que suportam e explicam a relevância tanto no ambiente da competitividade empresarial quanto no ambiente científico. Contém também o objetivo geral e os específicos da pesquisa, as delimitações, a metodologia aplicada, finalizando com uma explanação de como ela é documentada nos capítulos seguintes.

1.1 CONTEXTO

MURA no contexto deste trabalho relaciona-se ao desnivelamento ou variabilidade do ritmo de trabalho na literatura sobre Sistema Toyota de Produção. O MURA aqui abordado, o da manufatura enxuta, é considerado um dos três inimigos da produtividade junto com MURI (movimentos difíceis e antinaturais) e MUDA (os 7 desperdícios). Segundo SHINGO (1985) e OHNO (1988). FIGURA 1.

FIGURA 1 – MURA, MUDA e MURI

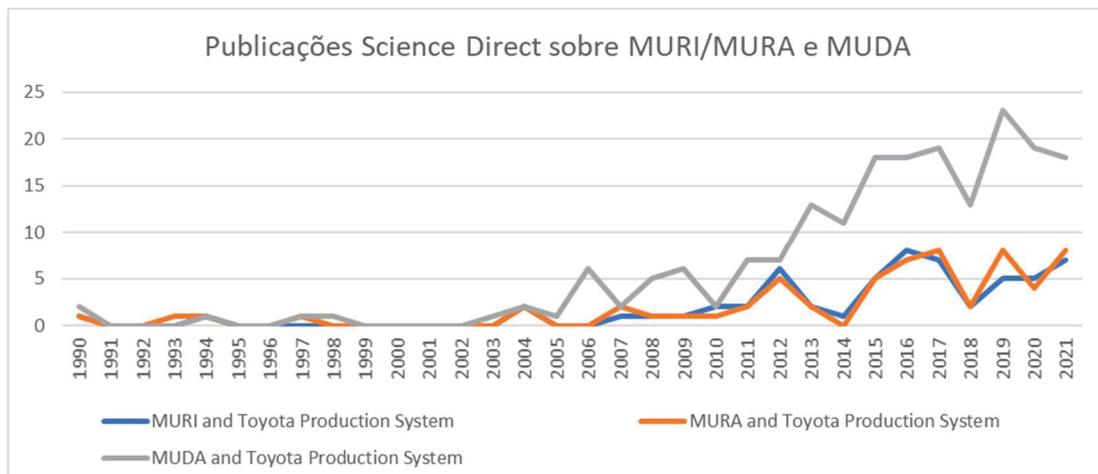


FONTE: Mudamaster (2013)

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

Destes três, o MUDA é o mais difundido e abordado tanto na literatura científica quanto nos softwares e sistemas de medição levantados nesta pesquisa. Conforme o GRÁFICO 1 abaixo.

GRÁFICO 1 – Quantidade de Publicações sobre Muri, Mura e Muda



FONTE: O autor (2023)

Em uma consulta por *strings* que combinam o MURI, MURA e MUDA junto como o Sistema Toyota de produção, na base do Science Direct, observa-se uma quantidade significativamente maior dos 7 desperdícios (MUDA). Termos como o MURI e MURA quando aparecem, elas são citadas em conjunto com o MUDA majoritariamente.

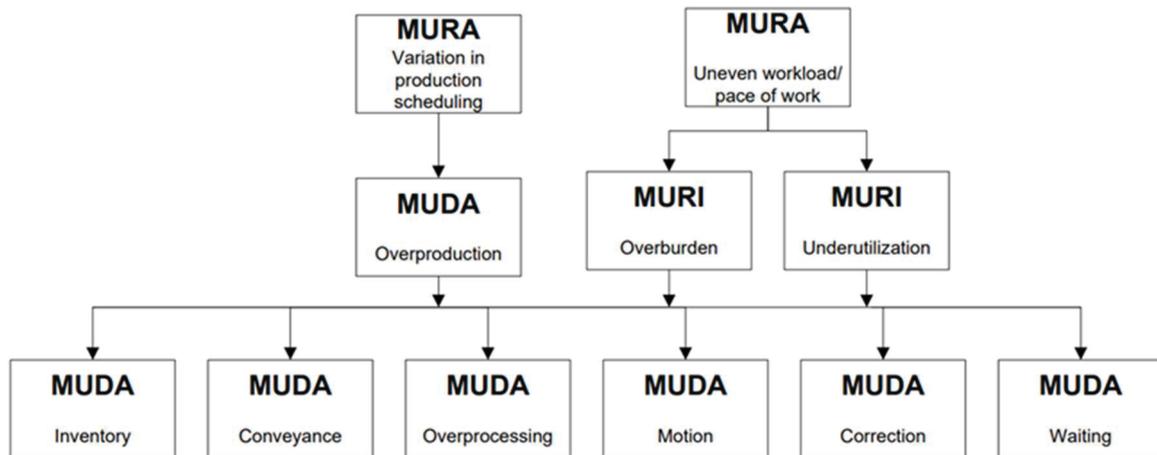
Porém, ao contrário da atenção direta ao MUDA que são feito, o combate a elas deveria estar voltado ao MURA e MURI. Pois ambos são causa do MUDA, como relata WOMACK, 2006 no sítio do LeanOrg¹:

“ (...) mas agora, 20 anos depois, está claro para mim quanto esforço gastamos na eliminação de muda e quão pouca atenção demos a mura e muri (...) inevitável é que mura cria muri que prejudica os esforços prévios para eliminar muda. Em resumo, mura e muri são agora as causas raiz de muda em muitas organizações. Pior ainda, eles colocaram de volta muda que os gerentes e a equipe de operações já haviam eliminado.”
(WOMACK, 2006)

¹ https://www.lean.org.br/comunidade/artigos/pdf/artigo_350.pdf

Visão esta, corroborada e detalhada por PIENKOVSKI (2014). O MURA desdobrado na variação da programação de produção e no desbalanceamento da carga/paço do trabalho, é causa do MURI e os outros MUDAs. Conforme FIGURA 2.

FIGURA 2 – MURA como causa dos demais desperdícios



FONTE: Pienkovski (2014)

Desta forma, o MURA ou desnivelamento de carga de trabalho, seja ela pela própria programação de produção ou pelo não equilíbrio da força de trabalho, se torna peça fundamental para o aprimoramento da produtividade das empresas de manufatura. Entretanto, mesmo sendo um fenômeno causal dos demais desperdícios, segundo YAMASHINA (2008), sem uma observação treinada e continuada não seria possível o reconhecimento de tal fenômeno adequadamente. De fato, trabalhos como ASSAF (2015) e ALSAFFAR (2018) atestam esta dificuldade de se identificar esta perda. Ambos os casos, apresentam sequencias de tomada de tempo de um ciclo repetitivo e as tratam através de cartas de controle para identificar as variações caracterizando o MURA.

Assim forma-se o contexto da presente proposta. O direcionamento de novas tecnologias de análise do fator humano nos postos de trabalho para facilitar a detecção de quebras de ritmo de atividades rotineiras do posto de trabalho.

1.2 TEMA

O tema deste trabalho é um método de identificação do fenômeno MURA nos processos de manufatura repetitiva utilizando-se de visão computacional para medição dos tempos ciclo das atividades.

1.3 JUSTIFICATIVA

Pela perspectiva da competitividade empresarial, conforme relatado anteriormente, justifica-se este estudo para direcionar os esforços de melhoria das empresas nos fenômenos causais das perdas do sistema produtivo. Não em suas resultantes.

Pela perspectiva acadêmica, este estudo visa contribuir com a exploração científica sobre o tema MURA na literatura presente sobre o Sistema Toyota de Produção. Oferece também uma ampliação de exemplos do uso da visão computacional em ambientes industriais.

Desta forma, estabelecemos o objetivo geral e os específicos listados abaixo.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Geral

Propor um método de medição de tempo ciclo por visão computacional de atividades repetitivas identificando as variações antinaturais (MURA) destes ciclos.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar as tecnologias existentes para medição de quebras de ritmo nas indústrias de manufatura;
- Desenvolver um sistema capaz de medir o tempo ciclo de uma atividade repetitiva através do vídeo monitoramento do posto de trabalho alvo;
- Validar o sistema através de múltiplos estudos de caso

Para que haja factibilidade destes, contribuindo de forma efetiva no desenvolvimento do conhecimento sobre este tema, delimitações foram estabelecidas e são apresentadas na sequência.

1.5 DELIMITAÇÕES

Uma primeira delimitação desta pesquisa, se trata da abrangência das conclusões aqui desenvolvidas. Por se tratar de uma amostragem não probabilística e intencional referente ao grupo de empresas estudadas determinadas pela conveniência e acessibilidade do pesquisador, as conclusões aqui obtidas não podem ser generalizadas. Necessitando uma extensão destes estudos de casos para tanto.

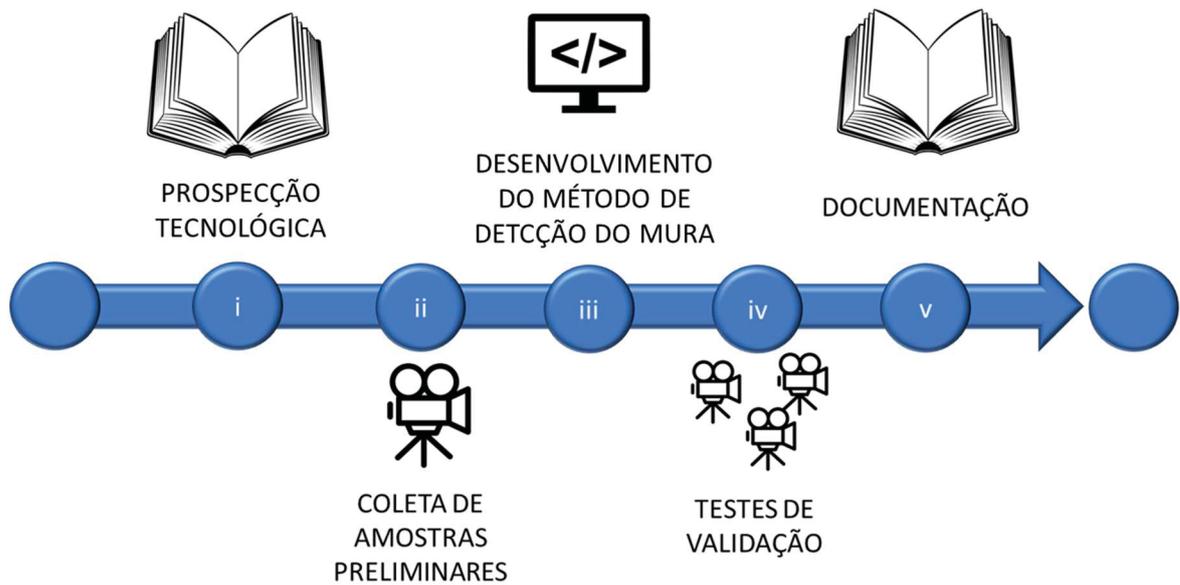
Outra delimitação do sistema proposto, advém do próprio sistema baseado em visão computacional. O ciclo de trabalho a ser avaliado precisa estar visível a uma câmera de filmagem. Dentro de sua área de captação, com iluminação e contraste suficiente para destacar os elementos que compõe o movimento a ser monitorado. Maiores detalhes sobre estas delimitações do sistema proposto serão apresentados adiante.

Uma vez definido o escopo e as delimitações deste, segue-se neste trabalho os meios em que esta pesquisa foi conduzida. Os procedimentos metodológicos são introduzidos no item seguinte.

1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Segundo GIL (2008), para que um conhecimento possa ser considerado científico, torna-se necessário identificar as operações mentais e técnicas que possibilitam a sua verificação. Desta forma, para responder aos objetivos listados anteriormente esta pesquisa foi conduzida em 5 fases: prospecção tecnológica, coleta de amostra inicial, construção do algoritmo de detecção de MURA, testes de validação (estudos multi casos) e documentação. Sumarizadas no protocolo de pesquisa da FIGURA 3.

FIGURA 3 – Protocolo de Pesquisa



FONTE: O autor (2023)

Detalhando-se as 5 fases citadas, tem-se:

i – Levantamento da bibliografia científica, softwares de mercado e registros de patentes a respeito do tema a fim de se estabelecer as bases teóricas científicas e estado atual do desenvolvimento tecnológico a respeito.

ii – Seleção de vídeo de trabalho repetitivo para desenvolvimento da medição do tempo ciclo da atividade.

iii – Estabelecimento de um método replicável para aplicação em postos de trabalho diversos.

iv – Aplicação do método proposto por meio de um múltiplo estudo de caso.

v – Análise, documentação e divulgação da pesquisa.

1.7 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Considerando-se os termos estabelecidos no presente capítulo, o Capítulo 2 apresenta a revisão da literatura e o estado da arte da tecnologia aplicada que embasam o tema e a proposta. No Capítulo 3 descreve-se a metodologia de pesquisa do presente trabalho. No Capítulo 4 detalha-se o processo desenvolvido para captura do fenômeno MURA em diversos cenários de produção repetitiva. No Capítulo 5 são apresentados os múltiplos estudo de caso. No Capítulo 6, baseados nos dados

levantados, apresenta-se a análise de resultados do sistema proposto. Seguido no Capítulo 7 com as conclusões, recomendações e oportunidades de pesquisas futuras.

2 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

Para obtenção do estado da arte que embasam a proposição deste trabalho foi realizada três linhas de levantamento de informações. Uma sob olhar de publicações científicas a respeito do MURA, outra sobre medição e estratificações de tempo ciclo de atividades incluso softwares comerciais e uma última sob o aspecto de patentes requeridas a respeito de visão computacional aplicada as indústrias e afins. Neste capítulo serão sumarizados os principais achados de cada uma destas três linhas de levantamento de dados.

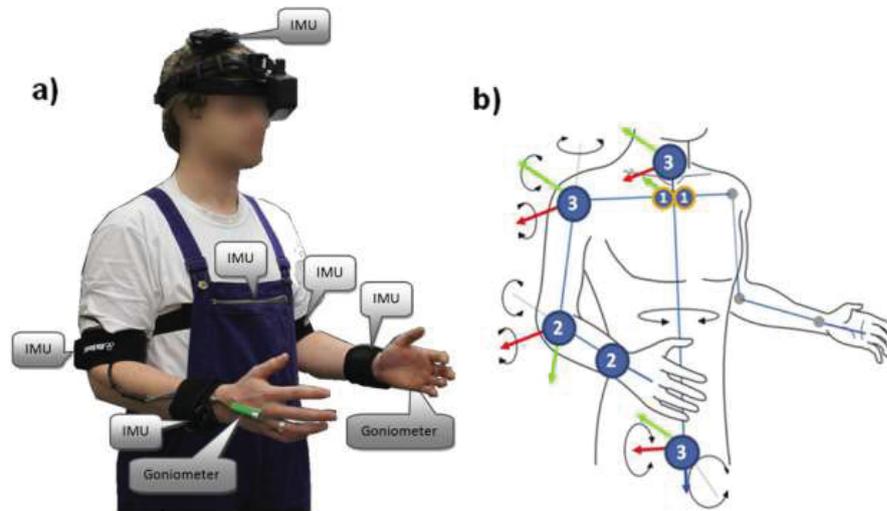
2.1 REVISÃO DAS PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS

Para a pesquisa bibliográfica na fase do embasamento teórico seguiu-se o roteiro sugerido por LEVY e ELLIS (2006). Detalhes deste processo se encontra descrito no capítulo seguinte. Dos achados desta abordagem identificam-se trabalhos já relatados no capítulo introdutório, o de PIENKOVSKI (2014), ASSAF (2015) e ALSAFFAR (2018). No primeiro o autor ressalta o MURA como o principal desafio das organizações de manufatura enxuta. No segundo trabalho, ASSAF e JUKIC, 2015; associa MURA a um fenômeno oriundo em fatores humanos. Variações do tempo de separação de componentes são ressaltados e aperfeiçoados. E no terceiro ALSAFFAR (2018) associa o desnivelamento de carga do trabalho a desdobramentos sobre fatores ergonômicos do operador. Corroborando com a aproximação de MURA e MURI relatado tanto por WOMACK (2006) e PIENKOVSKI (2014).

Com foco na avaliação e quantificação do MURA nos processos produtivos o levantamento tecnológico buscou sistemas que forneçam medições dos fatores humanos ligados nas atividades industriais. Na ausência de algum sistema direto para avaliação do fenômeno desejado (MURA) seguiu-se este estudo apoiado em sistemas de avaliação de desperdício e movimentos inúteis (MUDA) e de movimentos difíceis e não ergonômicos (MURI). Desta inclusão, trabalhos publicados por: VIGNAIS (2012), BORTOLINI (2018), PERUZINNI (2018) e FACCIO (2019) se destacam.

No primeiro, VIGNAIS (2012) propõe o uso de *wearables* para capturar o movimento do operador conforme FIGURA 4:

FIGURA 4 – *Wearables* para Captura dos Movimentos do Operador

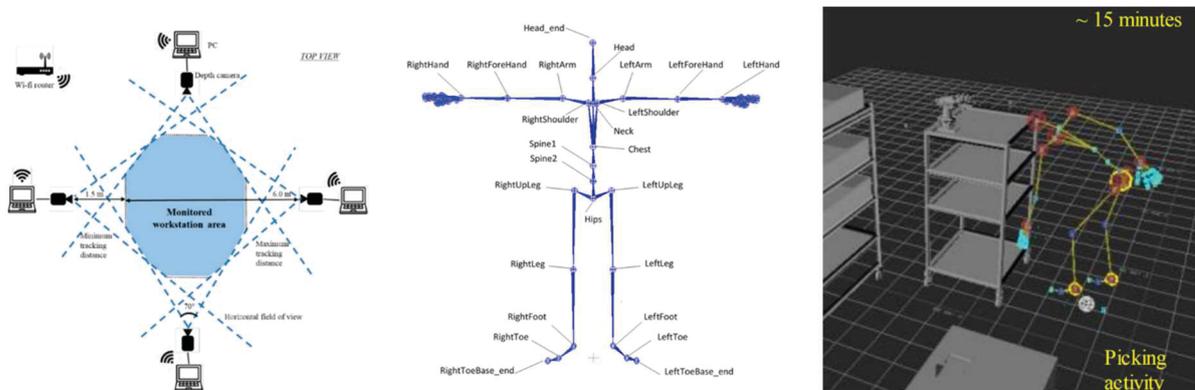


FONTE: Vignais et al. (2012)

Estes autores utilizando-se de sensores presos o corpo do operador, propõe um sistema de avaliação em tempo real de condições não ergonômicas presentes no trabalho. Os resultados desta medição são compilados em tabelas de angulações limites para cada parte do corpo assim avaliada.

Uma evolução da tecnologia de *wearables* foi o uso da visão computacional para detecção de movimentos não ergonômicos, publicado por BORTOLINI (2018). Também propondo um sistema de *feedback* automático dos riscos ergonômicos presentes na rotina de tarefas do operador. FIGURA 5.

FIGURA 5 – Configuração de Captura de Movimentos, identificação de Esqueleto e Monitoramento das Condições Ergonômicas



FONTE: Bortolini et al. (2018)

Já PERUZINNI (2018), com foco no projeto de postos de trabalho mais ergonômicos para o operador, cita entre tecnologias o uso da visão computacional para esta detecção destes movimentos não ergonômicos do operador. FIGURA 6.

FIGURA 6 – Tecnologia Selecionada para Avaliação dos Movimentos do Operador

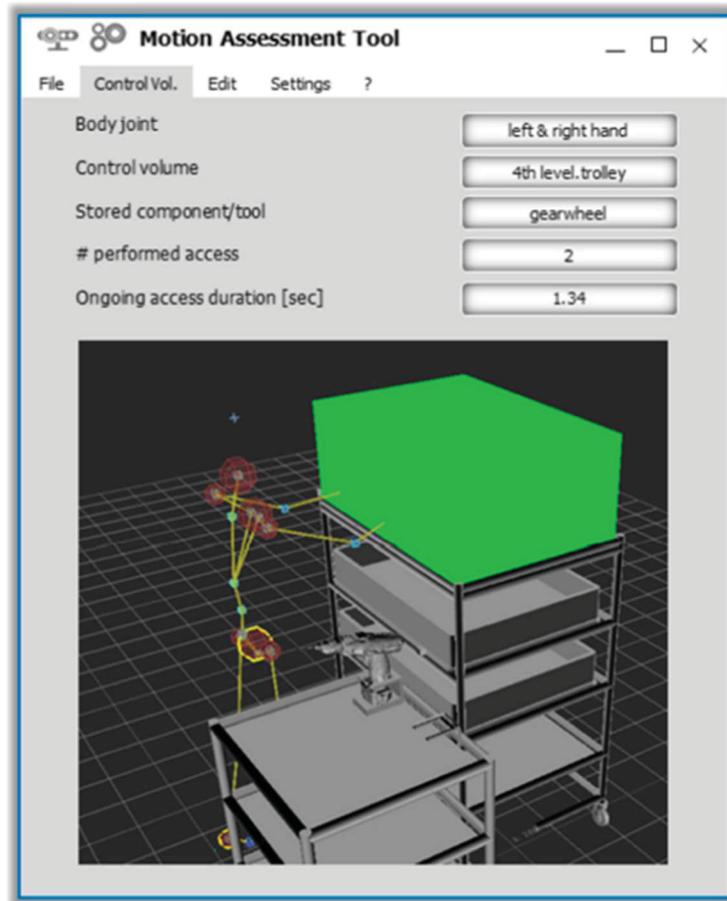
Tool typology	Monitored parameters	Selected tools	Collected data
Video camera	Workers' actions	GoPro Hero3	Videos and images 

FONTE: Peruzinni et al. (2018)

De fato, BORTOLINI (2018), PERUZINNI (2018) e FACCIO (2019), compõe uma equipe de pesquisadores prolíficos e abordam e exploram um sistema de visão computacional nas análises do posto de trabalho. FACCIO et AL de 2019 em uma publicação intitulado: *Human Factor Analyser for work measurement of manual manufacturing and assembly processes* documentam em detalhes esta tecnologia. Além de explorar a questão não só ergonômica, mas propõe uma estratificação do tempo do operador nas atividades que não agregam valor, ou desperdícios, ou MUDA.

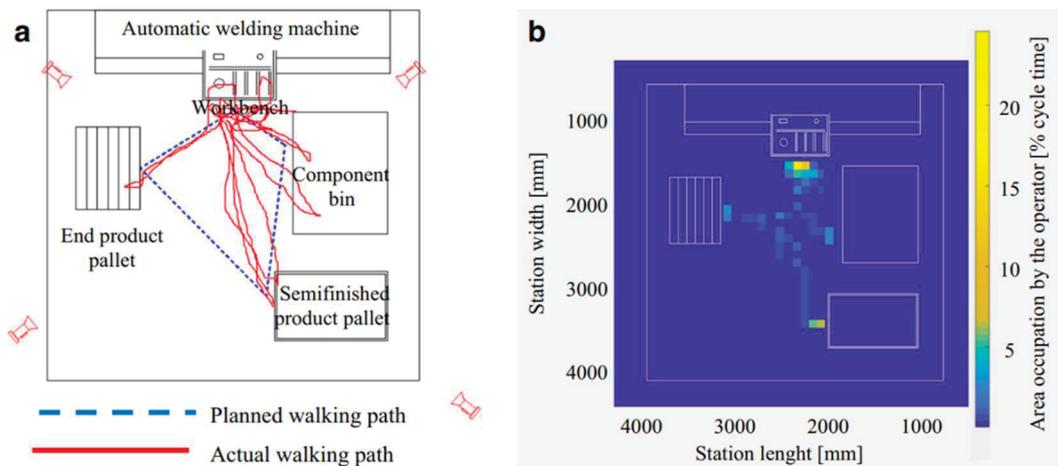
Com base na identificação de partes do corpo presentes na cena e sua interação com os postos de trabalho (FIGURA 7), os autores atestam a possibilidade de obter dados precisos do operador. Como deslocamento dentro do *layout* (FIGURA 8) ou as regiões que as mãos do operador frequentam em uma rotina de trabalho (FIGURA 9) por exemplo.

FIGURA 7 – Interface de Análise do *Human Factor Analyser*



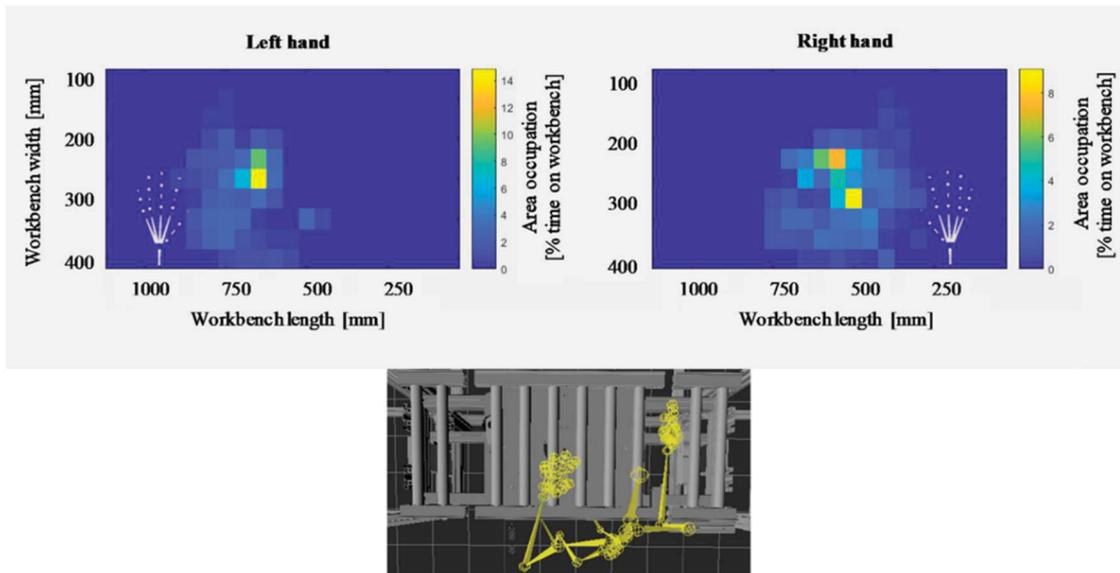
FONTE: Faccio et al. (2019)

FIGURA 8 – Análise de Deslocamentos e Permanência do Colaborador no Posto



FONTE: Faccio et al. (2019)

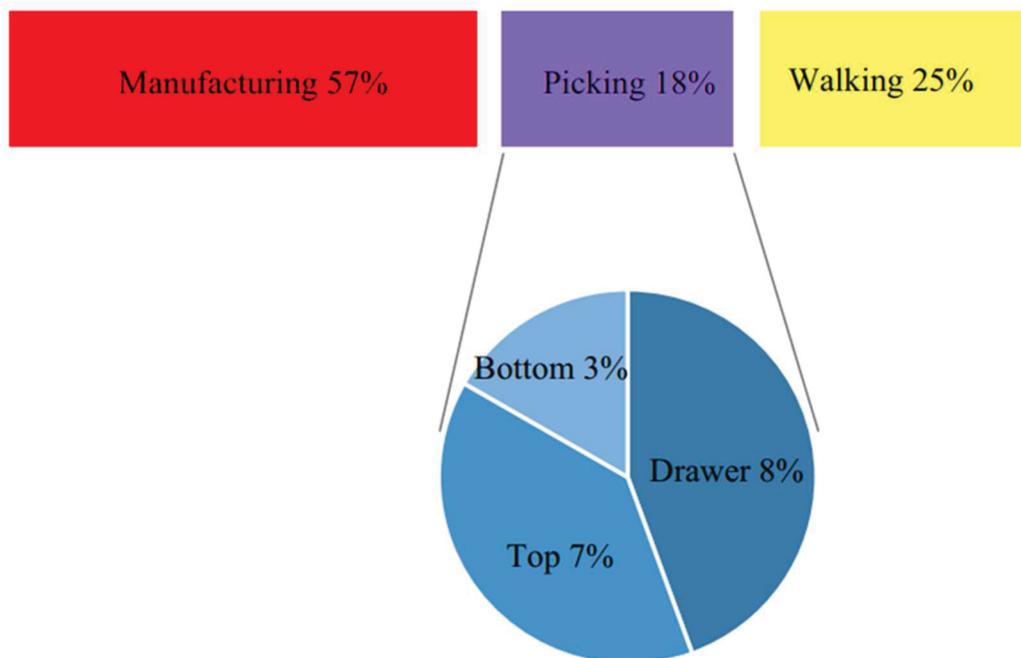
FIGURA 9 – HFA Movimento das Mãos em uma Bancada de Trabalho



FONTE: Faccio et al. (2019)

Desta forma obtendo divisões precisas dos tempos que compõe o ciclo produtivo do operador no posto de trabalho aplicado o HFA. GRÁFICO 2.

GRÁFICO 2 – HFA, Componentes do Tempo Ciclo Resultantes da Medição



FONTE: Faccion et al. (2019)

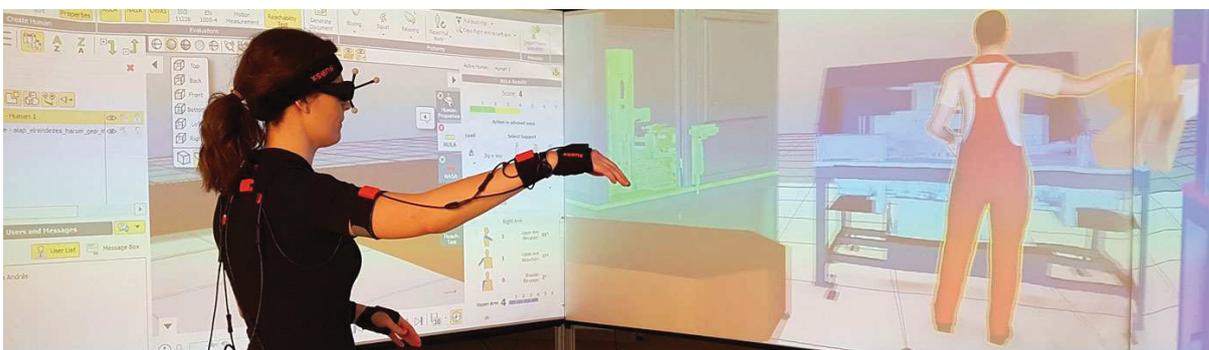
As publicações científicas levantadas por esta pesquisa demonstram que há evoluções consistentes nas tecnologias de avaliação do fator humano nas manufaturas com o uso de wearables e visão computacional. Porém dentre as possibilidades de aplicação, verifica-se estas tecnologias estão direcionadas para verificação de condições não ergonômicas e desperdícios. Para o fenômeno foco desta pesquisa, o MURA ou quebra de ritmo, ainda são utilizados a vídeo filmagem com análise humana posterior.

2.2 LEVANTAMENTO DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO EM SOFTWARES COMERCIAIS

Para complementar a visão acadêmica relatada no item anterior, realizou-se um levantamento em softwares comerciais aplicados na análise do fator humano em indústrias. Da mesma forma do cenário obtido nas pesquisas nas bases científicas verifica-se também o direcionamento do foco destas soluções de medição a análise ergonômica ou aos desperdícios: MURI ou MUDA.

Sobre MURI, ou condições não ergonômicas, softwares da <https://tracklab.com.au/> o Vivelab Ergo Software® e o Visafe® se destacam em termos de captura de informações dos operadores. O primeiro usando *wearables* (FIGURA 10) e o segundo usando visão computacional.

FIGURA 10 – *Motion Capture* por uso de *Wearables*

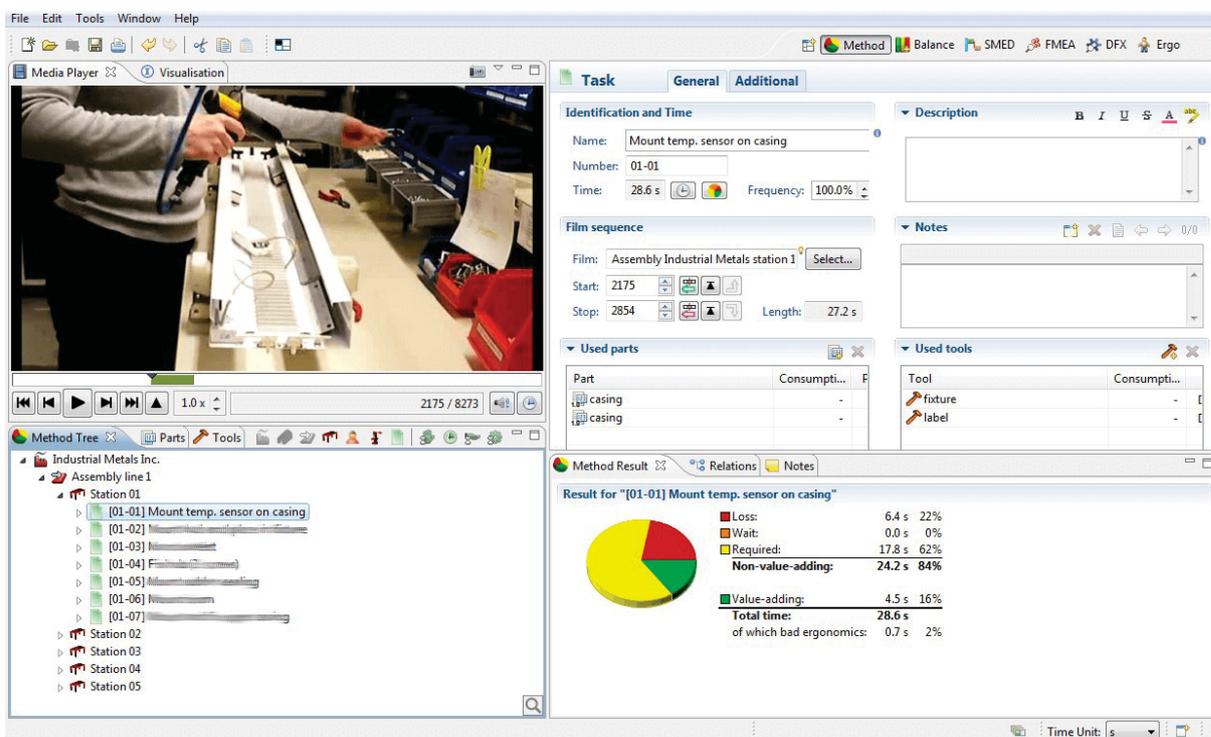


FONTE: <https://tracklab.com.au/>

Já no tocante a medição do tempo ciclo e principalmente a avaliação de perdas, os softwares identificados foram o AVIX® e o TimerPRO®. O primeiro

(FIGURA 11), utiliza-se de filmagens do posto de trabalho para avaliação dos movimentos e sua classificação de perdas por um analista.

FIGURA 11 – Tela de Análise e Apontamentos do Ciclo de Trabalho



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

Onde a filmagem ora capturada é reprisada quadro a quadro ou acelerada para que um analista possa ir apontando as frações de tempo destinadas a atividades diversas do posto.

Processo semelhante ao TIMER PRO® no tocante ao trabalho em um *desktop*, mas com um aditivo da possibilidade de uso de um aplicativo para aparelhos móveis, conforme FIGURA 12. Onde é possível por uma observação direta do trabalho, classificando-se o tempo percebido em movimentos que agregam valor ou desperdícios.

FIGURA 12 – Aplicativo de Crono Análise com Segregação dos Tipos de Movimentos



FONTE: ACSCO.com

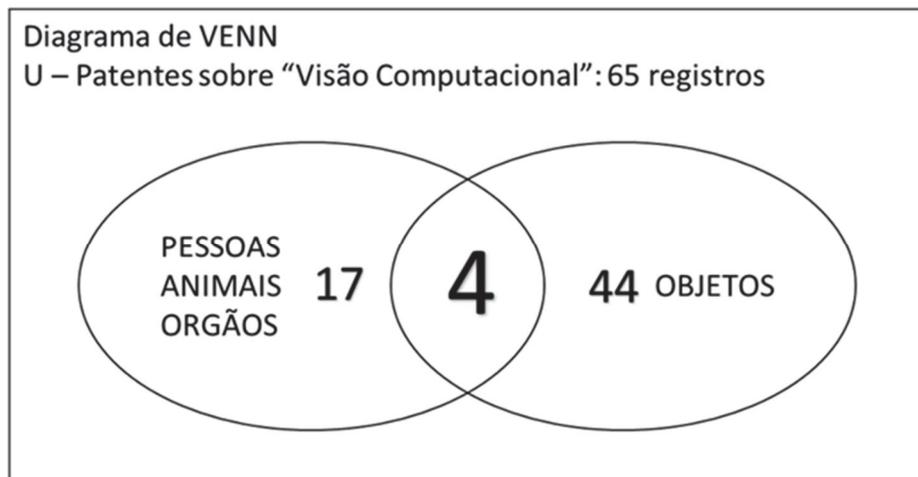
Excluindo-se os *softwares* de MRP2 (que incluem um tempo ciclo estimado nos seus cálculos de necessidade de mão de obra dado um volume produtivo a ser alcançado), este levantamento buscou aplicações com propostas mais detalhadas de direcionamento e apontamento de perdas produtivas. E quando se fala de perdas de mão de obra, os *softwares* aqui identificados focam diretamente na classificação do tempo total em parcelas de movimentos com valor agregado (VAA), movimentos de semi valor agregado (SVA) e ainda movimentos desnecessários (NVAA). Obtendo assim o percentual de MUDA (desperdícios) de cada processo analisado. Não estendendo suas análises para vários ciclos repetitivos para assim obter a quebra de ritmo. Adiciona-se ainda o fato que esta tomada de tempo e classificação depende de um analista humano observando os tempos do posto de trabalho e suas diversas atividades

2.3 LEVANTAMENTO DE REGISTROS DE PATENTES

A base da visão computacional para detecção de MURA envolve o reconhecimento do corpo humano e partes de interesse deste e sua interação com objetos, ferramentas ou peças. Principalmente para marcação do tempo ciclo de atividade repetitiva, conforme detalharemos no Capítulo 4, desenvolvimento do sistema. Desta forma foi realizada uma consulta sobre a base do INPI (Instituto

Nacional de Propriedade Industrial) onde de um total de 65 registros de patentes envolvendo a visão computacional, apenas 4 registros estiveram próximos a aplicação proposta no presente trabalho. DIAGRAMA 1.

DIAGRAMA 1 – Resultantes da Consulta de Patentes



FONTE: O autor (2023)

Segue quadro das 4 patentes, que representam a utilização de visão computacional sobre o corpo humano e objetos ao mesmo tempo. QUADRO 1.

QUADRO 1 – Patentes de Visão Computacional que Integram Pessoas e Objetos

Pedido	Depósito	Título	IPC
PI 0601170-5	06/04/2006	SISTEMA E PROCESSO DE SEGURANÇA E PROTEÇÃO DE PESSOAS, MÁQUINAS, PROCESSOS OU AMBIENTES, BASEADO EM VISÃO COMPUTACIONAL	G02F 1/13
PI 0700691-8	15/02/2007	DISPOSITIVO OPTO-ELETRÔNICO PARA AUXÍLIO E CONTROLE DE PROCESSOS INDUSTRIAIS BASEADOS EM MONTAGENS MANUAIS ATRAVÉS DE VISÃO COMPUTACIONAL, REALIDADE VIRTUAL AUMENTADA, COMPUTAÇÃO GRÁFICA E ANÁLISE DE MOVIMENTOS	G05B 19/042
BR 10 2012 009535 1	23/04/2012	SISTEMA DE MONITORAMENTO POR VISÃO COMPUTACIONAL DO USO DE EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL	G06Q 10/06
BR 10 2018 006849 0	04/04/2018	SISTEMA E MÉTODOS PARA ANÁLISE E MONITORAMENTO DE INTERAÇÕES DE CLIENTES COM GÔNDOLAS EM ESTABELECIMENTOS COMERCIAIS BASEADO EM VISÃO COMPUTACIONAL	G06K 9/00

FONTE: O autor (2023)

Onde as 4 patentes identificadas, em um primeiro momento chama a atenção o pedido PI 0700691-8, segunda linha da QUADRO 1. Porém trata-se de um artefato ligado a validação de montagens para setup aplicados em indústria têxtil. Duas destas patentes trata-se de uso de EPI (equipamentos de proteção individual) e respeito a planos de circulação em ambientes industriais. Outra patente embora aplicada em um ambiente comercial, foi selecionada pela medição de tempo que pessoas permanecem observando ou interagindo com gôndolas de venda. Tecnologia

semelhante com a proposta onde se pretende monitorar aspectos de interação do operador com o posto de trabalho.

Portanto deste levantamento de publicações científicas, dos softwares comerciais existentes e das patentes requeridas, concluímos que a detecção do MURA dos postos de trabalho através da aplicação de visão computacional ainda se apresenta como uma lacuna no contexto da indústria de manufatura.

A seguir detalharemos os procedimentos adotados para cada fase desta pesquisa. Desde os procedimentos de levantamento sistemático da literatura científica, onde os achados foram sumarizados anteriormente, bem como as etapas subsequentes como a elaboração do sistema e os estudos multi casos para validá-lo.

3 METODOLOGIA

Quanto ao enquadramento deste trabalho, trata-se de uma pesquisa aplicada, uma vez que busca a produção de conhecimento a fim de contribuir com a solução de um problema prático. É exploratória segundo Gil (2002) pois procura expandir o conhecimento sobre o assunto em questão, contribuindo para o estabelecimento de bases científicas para desenvolvimentos de hipóteses a respeito.

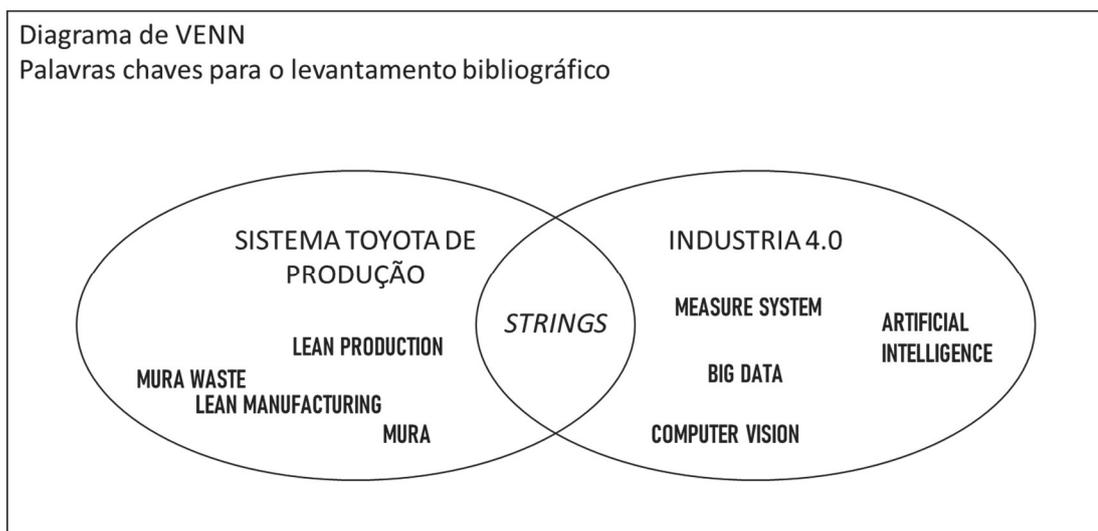
Em termos de procedimentos divide-se a mesma de acordo com a fase específica listada na Figura 3. Para a fase de levantamento bibliográfico uma pesquisa sistemática sobre publicações científicas foi aplicada. Para o desenvolvimento inicial do sistema de medição foram utilizadas filmagens de postos de trabalho de domínio público e as existentes nas bases de trabalhos de melhoria realizadas anteriormente pela equipe de pesquisadores. Já a fase de aplicação foi elaborado e executado um protocolo de estudo multi caso. Assim obtendo a base de informações que são analisados quantitativamente e qualitativamente que suportam as conclusões da pesquisa. Segue detalhamento dos procedimentos de levantamento sistemático da literatura, do protocolo do estudo multi caso aplicados e das formulações estatísticas aplicadas sobre os dados de saída do sistema proposto.

3.1 PROCEDIMENTO PARA O LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Para a pesquisa bibliográfica na fase do embasamento teórico seguiu-se o roteiro sugerido por LEVY e ELLIS (2006). Iniciou-se pela seleção das bases de pesquisa onde inclui-se bases abrangentes multidisciplinares como SCOPUS, Science Direct, Web of Science, Emerald e Wiley. E de conhecimentos específicos da área pesquisada as bases da Taylor & Francis e a IEEEEXPLORE.

Para os termos de pesquisa nestas bases iniciou-se por *strings* combinando palavras chaves de duas grandes áreas: a do Sistema Toyota de Produção e da Indústria 4.0, conforme DIAGRAMA 2.

DIAGRAMA 2 – *Strings* de Pesquisa



FONTE: O autor (2023)

Resultando em um ponto de partida de 2106 artigos (QUADRO 2) para próxima fase de eliminação de repetições.

QUADRO 2 – Resultado da Busca de Acordo com a *String* Utilizada

String de pesquisa	Scopus	Science Direct	Web of Science	Emerald Insights	Wiley	Taylor & Francis	ieeexplore	TOTAL
"MURA WASTE" AND "MEASURE SYSTEM"	0	0	0	0	0	0	0	0
"MURA" AND "INDUSTRY 4.0"	1	51	1	13	2	4	3	75
"LEAN MANUFACTURING" AND "BIG DATA"	2	72	2	48	11	4	2	141
"MURA" AND "BIG DATA"	9	135	1	32	7	4	1	189
"MURA" AND "ARTIFICIAL INTELLIGENCE"	14	204	10	193	21	29	41	512
"LEAN PRODUCTION" AND "ARTIFICIAL INTELLIGENCE"	30	170	5	166	76	15	19	481
"COMPUTER VISION" AND "INDUSTRY 4.0"	100	470	1	62	0	0	75	708
TOTAL	156	1102	20	514	117	56	141	2106

FONTE: O autor (2023)

Os artigos retornados pelas strings de pesquisa listados, foram eliminadas 920 ocorrências duplicadas. Resultando em 1186 artigos para seleção por alinhamento de títulos.

Destes foram eliminados artigos ligados a pesquisas dirigidas ao ramo de serviços como ramo de hotelaria, MURA que é um fenômeno (defeito) ligado a fabricação de telas LCD, outras especialidades dentro das indústrias de manufatura como manutenção de equipamentos por exemplo ou artigos publicados a mais de 5

anos que sumarizam principais linhas de pesquisa e pontos em aberto no cenário da indústria 4.0. Totalizando 947 artigos descartados para fins da presente pesquisa.

Os 239 artigos restantes foram então agrupados por ano de publicação e classificados por número de citações com objetivo de selecionar os artigos maior impacto na construção do conhecimento científico sobre o tema pesquisado. QUADRO 3. Descartando assim conforme ano de publicação, progressivamente pela quantidade de citações. Para artigos publicados antes de 2017 foram considerados apenas artigos que obtiveram número de citações acima de média do grupo. Artigos publicados em 2018 e 2019 foram eliminados apenas aqueles sem nenhuma citação e os mais recentes que isto, foram considerados todas as publicações

QUADRO 3 – Artigos Agrupados por Ano de Publicações e Classificados por Número de Citações

Ano de Publicação	Contagem Artigos	Mín Citações	Média Citações	Max Citações	Restantes
<=2009	26	0	282,8	6182	1
2010	2	125	432,5	740	1
2011	3	7	43,7	84	1
2012	1	24	24,0	24	1
2013	7	13	66,4	238	2
2014	8	3	111,0	753	1
2015	9	0	96,1	453	3
2016	12	5	185,5	934	3
2017	8	1	209,5	1451	1
2018	27	0	84,5	413	26
2019	45	0	25,9	196	41
2020	70	0	11,3	81	70
2021	21	0	1,3	9	21
	239				172

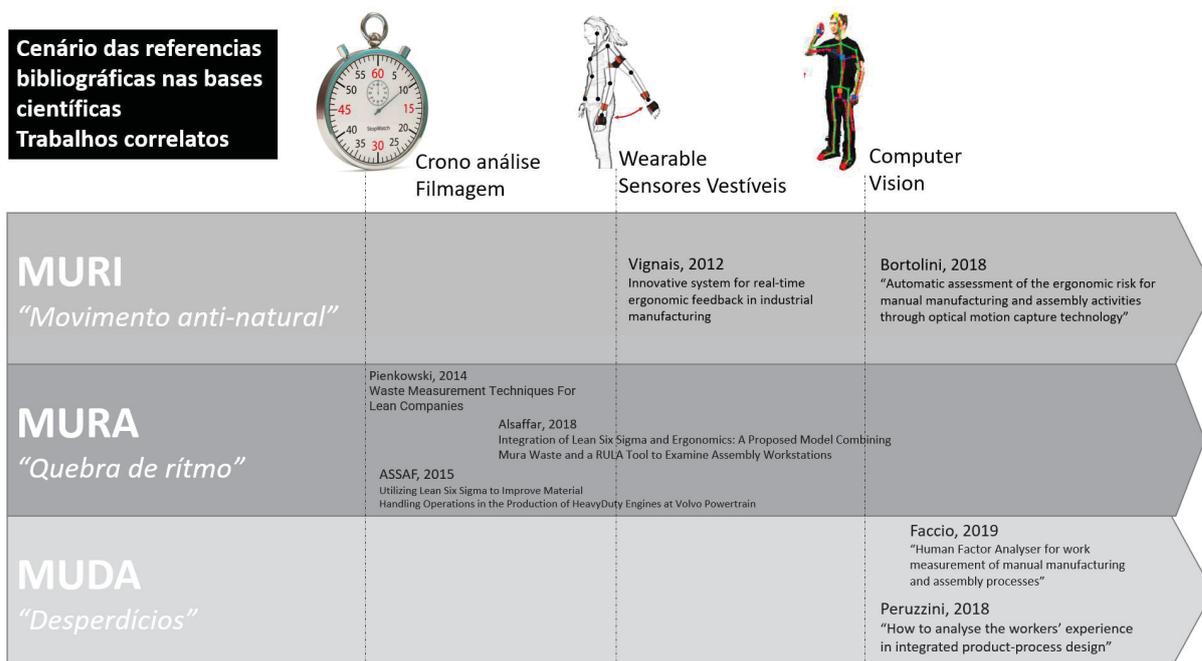
FONTE: O autor (2023)

Restando 172 artigos que foram analisados pelos seus resumos. Nesta fase foram descartados 144 artigos. Uma grande parte destes artigos eram ligados ao tratamento de base de dados para aplicação de ferramentas de análise e dados, revisões sistemáticas de literatura científica publicadas, pesquisas voltadas a desenvolvimento de produto em fábricas inteligentes, questões ligadas aos robôs colaborativos etc.

Desta forma, obteve-se 28 artigos que foram analisados em seu texto completo. Nesta fase para formar os embasamentos e achados relatados no capítulo introdutório e no da revisão bibliográfica deste, destacamos os trabalhos de PIENKOWSKI, M. (2014), ALSAFFAR, KETAN, H. (2018), ASSAF, M. (2015) que

focam o mesmo tema de MURA em suas publicações. Sobre aplicações específicas de medição do fator humano nos postos de trabalho, temos VIGNAIS (2013) e o grupo de pesquisadores BORTOLINI, M.; FACCIO, M.; FERRARI, E.; GAMBERI, M.; PILATI, F.; REGATTIERI, A. PERUZZINI, M.; GRANDI, M.; PELLICCIARI, M. com vários trabalhos publicados entre 2018 e 2019. Este último grupo, destacando-se no uso de visão computacional como base para desenvolvimento de seus estudos. FIGURA 13.

FIGURA 13 – Trabalhos Correlatos



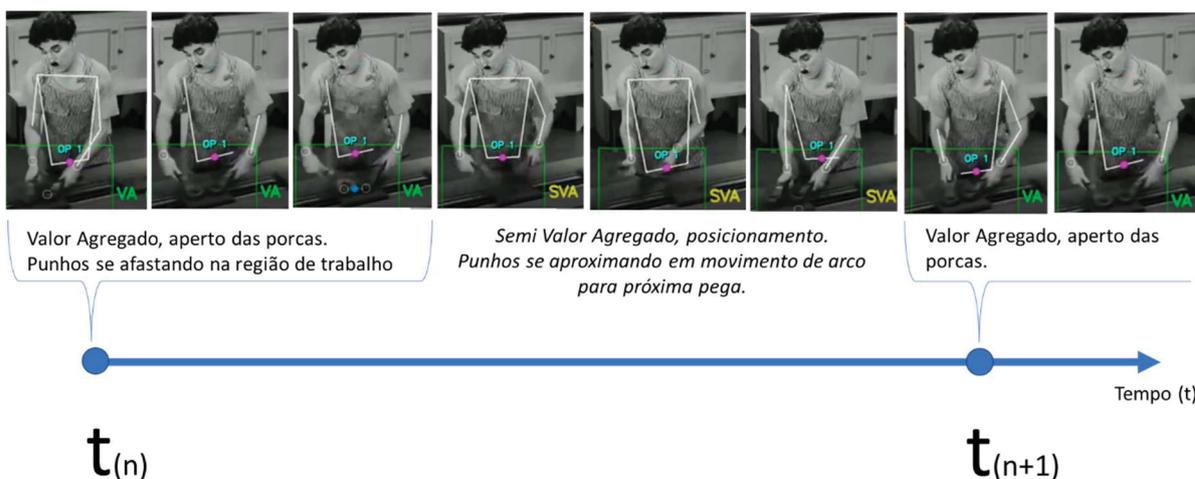
FONTE: O autor (2023)

Todos estes trabalhos referenciados na bibliografia ao final deste, que diretamente ou indiretamente aprofundam assuntos abordados na literatura que embasa o tema Sistema Toyota de Produção: SHINGO, S (1986), OHNO, T (1988), WOMACK, J (2004) e YAMASHINA, H. (2008).

3.2 PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DE DADOS OBTIDOS

O resultado primário do sistema, consistem em uma tabela com a marcação do *timestamp* ou o número de frame da filmagem em que foi reconhecido o evento chave monitorado. Como exemplo, trecho do filme Tempos Modernos de Chaplin (1936), FIGURA 14 abaixo.

FIGURA 14 – Marcação do Tempo Ciclo de uma Atividade Repetitiva



FONTE: O autor (2023)

Desta marcação obtém-se o intervalo de tempo entre estes tempos marcados. Equação 1 abaixo.

$$i_{(n)} = t_{(n+1)} - t_{(n)} \quad (1)$$

Para busca dos “outliers” utiliza-se o método do intervalo entre quartis aplicados no intervalo entre tempos demarcados (i). Expresso pelas equações 2 e 3.

$$L_{Sup} = \bar{x} + 1,5 \times IQR \quad (2)$$

$$L_{Inf} = \bar{x} - 1,5 \times IQR \quad (3)$$

Onde o \bar{X} é a média aritmética dos valores dos intervalos i , o IQR é o intervalo entre o primeiro Quartil e o terceiro Quartil (em módulo).

Desta forma, os maiores intervalos verificados, retornam-se os trechos que eles representam para observação das causas antinaturais ao sistema. No caso do exemplo do filme, em se tratando de uma caricatura, temos a coceira do personagem, a mosca do rosto, a chave que enrosca no produto e a troca de turnos. (FIGURA 15).

FIGURA 15 – Identificação de *Outliers* dos Tempos de Ciclo do Processo



FONTE: O autor (2023)

Em todos os casos reais aplicados esta fase de verificação de *outliers* foi significativa para eliminação de ausências de posto de trabalho, como por exemplo: intervalo de refeições, ausência de programação de produção, ou até mesmo intercalação de atividades fora do posto medido. Conforme serão relatados no Capítulo 5: análise de resultados do estudo multi caso.

Excluindo-se estes *outliers* foi possível então o refino dos dados de ciclo para análise através de cartas de controle do tipo $I_{-}MR$ ou valores individuais e amplitude móvel. Possibilitando a investigação de outras fontes de variação do sistema produtivo, tal como o realizado por ALSAFFAR, KETAN, H. (2018) e ASSAF, M. (2015). Desta última parte foram reveladas ciclicidades por lotes de abastecimento de linha, fadiga, entre outros eventos fortuitos rápidos. Anomalias que podem ser direcionadores de eventos de melhorias para a busca de um fluxo mais estável de produção.

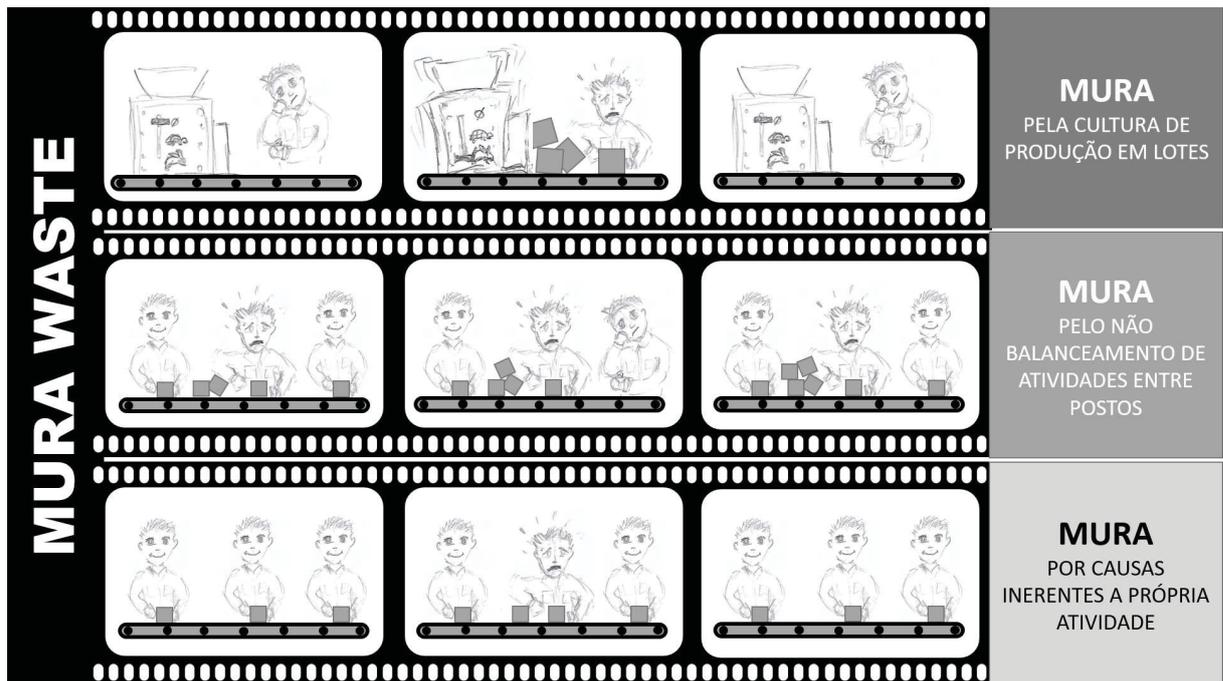
3.3 PROCEDIMENTO DO ESTUDO MULTI CASO

A fim de se atestar a aplicabilidade do sistema desenvolvido para detecção do MURA, foi desenvolvido procedimentos de estudo multi caso. Que segundo YIN (1994) estudo de caso constitui-se em um instrumento de pesquisa a ser utilizada nas etapas exploratórias na pesquisa de fenômenos pouco investigados ou como estudos-piloto. Optou-se pelo estudo multicaso nesta fase da pesquisa pois busca-se evidências mais determinantes e resultados mais robustos do que aqueles advindos de um único caso, segundo o mesmo autor.

O sistema a ser aplicado baseia-se em medições do tempo de um ciclo de trabalho de um colaborador através da aplicação de visão computacional. Desta forma a sua aplicabilidade está diretamente relacionada a empresas que possuem postos de trabalho designados a manufatura repetitiva. Locais específicos onde se espera a realização de um trabalho de rotina definida e que se repita várias vezes ao longo da jornada de trabalho de um colaborador.

Além disto dado que o método de medição é baseado em visão computacional buscou-se postos que possuíssem tamanho, iluminação e possibilidade de fixação de uma câmera de filmagem onde há enquadramento dos elementos chaves de análise. Os fenômenos que o método se propõe identificar e quantificar podem ser resumidos na FIGURA 16. A MURA derivado da não estabilização da quantidade produzida a cada momento variando a carga de trabalho ao longo da jornada de produção. A MURA devido ao não balanceamento das atividades entre postos subsequentes do fluxo produtivo. E a MURA devido a irregularidades da própria atividade a ser realizada ciclo a ciclo.

FIGURA 16 – Desdobramentos do fenômeno MURA



FONTE: O autor (2023)

Os elementos chaves de marcação de um ciclo não necessariamente estão ligados a primeira atividade de uma instrução de trabalho. Apenas busca-se dentro da rotina de trabalho algum gesto ou posicionamento, combinado ou não com elementos da própria cena (como objetos ou ferramentas) que tenha uma repetição pré-definida podendo ser caracterizada como a marcação do ciclo da atividade. Detalhes e exemplos serão relatados no capítulo seguinte.

4 DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO DE DETECÇÃO DE MURA

A marcação de um tempo ciclo relatado anteriormente depende da identificação de elementos chaves que compõe a cena da atividade sendo registrada. Uma combinação única entre posição ou gesto do operador com algum objeto ou luz captada pela câmera deve ser identificada. A tecnologia aqui desenvolvida baseia-se em dois pontos principais a serem combinados: a detecção do ser humano e o aprendizado em regiões de interesse específicas.

Sobre a detecção do ser humano assim como o HFA de FACCIO et al. (2019), o sistema aplicado nesta pesquisa o Loss Detection® da empresa RJVirtua® - apoiadores deste projeto de pesquisa, baseia-se em bibliotecas públicas de inteligência artificial para estimativa dos pontos do corpo humano presentes em alguma cena (FIGURA 17).

FIGURA 17 – Identificação de Pessoas e seu Posicionamento na Cena



FONTE: O autor (2023)

Tendo como resposta desta biblioteca a identificação do ponto do corpo humano e sua posição na tela frame a frame da filmagem. Com isto adiciona-se marcações de áreas de interesse sobre as imagens, as ROIs (*Region of Interest*) onde verifica-se a combinação dos pontos do *skeleton* dentro ou fora destas ROIs. Exemplo na FIGURA 18 abaixo.

FIGURA 18 –Detecção de Pessoas em Regiões de Interesse



FONTE: O autor (2023)

Na ROI verde em frente o painel da máquina e na ROI azul ao lado da mesa de saída do corte de chapas à laser observa-se a presença ou não de colaboradores nestas regiões. Desta forma podendo-se obter uma saída frame a frame de uma filmagem a exata marcação de tempo de um colaborador dentro de uma ROI.

Outro ponto chave neste processo está na identificação de objetos específicos em algum ponto da cena. FIGURA 19 abaixo.

FIGURA 19 –Detecção de Objetos em Regiões de Interesse

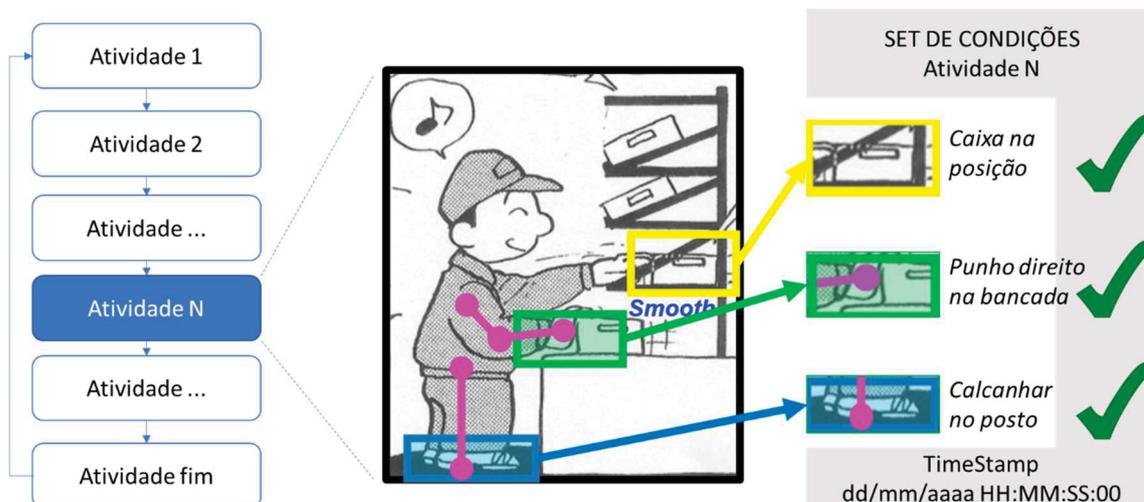


FONTE: O autor (2023)

No exemplo acima, a ROI determinada pelo retângulo laranja, identifica-se a presença ou não de peças cortadas sobre a mesa de descarga. Realizado pelo treinamento da visão computacional comparando a cena em vazio com as cenas que há presença de alguma obstrução ou objeto. O mesmo princípio pode ser estendido para luzes de advertência, presença ou não de ferramentas em seus suportes.

Com a combinação de pontos específicos do corpo do operador nas ROIs e a identificação de objetos em outras regiões (as duas configurações básicas do aplicativo desenvolvido) procura-se na rotina a ser medida alguma atividade que possa ser a marcação do ciclo de tempo da rotina pesquisada. FIGURA 20.

FIGURA 20 – Condições tipo “E” para Marcação de Ciclo de Atividade Rotineira



FONTE: O autor (2023)

Além disto é possível inserir também medições relativas entre dois pontos de interesse, por exemplo de punhos se aproximando uma das outras, ou se afastando (caso do filme Tempos Modernos – FIGURA 14). Elementos que precisam ser avaliados para determinação da combinação única que possa servir de gatilho ou marcação de um ciclo de trabalho.

O *setup* do sistema proposto portanto consiste na identificação de uma combinação única dos elementos detectáveis pela visão computacional que possam marcar a realização de um ciclo de atividades. Desta forma o método aqui proposto não elimina a necessidade de uma análise humana da filmagem capturada, porém, possibilita uma continuidade de medição por período indeterminado. Não sujeito portanto a fadiga do analista e mantendo a precisão necessária para a detecção da variação do tempo ciclo, ou seja, o MURA.

Desta forma, resume-se o método proposto no presente trabalho, nos seguintes passos:

- 1 – Instalação de câmera fixa e enquadramento do posto de trabalho alvo
- 2 – Captura de amostras de ciclo a ser medido e comparação a folha de processo
- 3 – Identificação de elementos chaves, condições “E” para marcação do ciclo

- 4 – Demarcação de ROIs e treinamento de reconhecimento de objetos
- 5 – Processamento de vídeo de longa duração da atividade.
- 6 – Tratamento estatístico de identificação das quebras de ritmo dos ciclos
- 7 – Retorno do vídeo aos pontos de MURA para avaliação de causa

As restrições do passo 1 referem-se a distância, enquadramento do ciclo alvo, e das condições de iluminação e contraste das pessoas e dos objetos a serem utilizados para marcação do tempo de ciclo da atividade. Condições a serem detalhadas adiante. Do passo 3 vem o setup do sistema onde na ocorrência da condição treinada, os intervalos de tempo são obtidos (Equação 1). Resultante do passo 5 o conjunto de intervalos de tempo obtido, faz-se a classificação das anomalias (Equação 2 e 3 ou cartas de controle). O ganho está justamente no passo 5 com o processamento de grandes intervalos de tempo de uma jornada de trabalho. Uma vez treinada, a visão computacional fornece os tempos e intervalos de tempo de cada ciclo, sem a necessidade de nova interpretação humana.

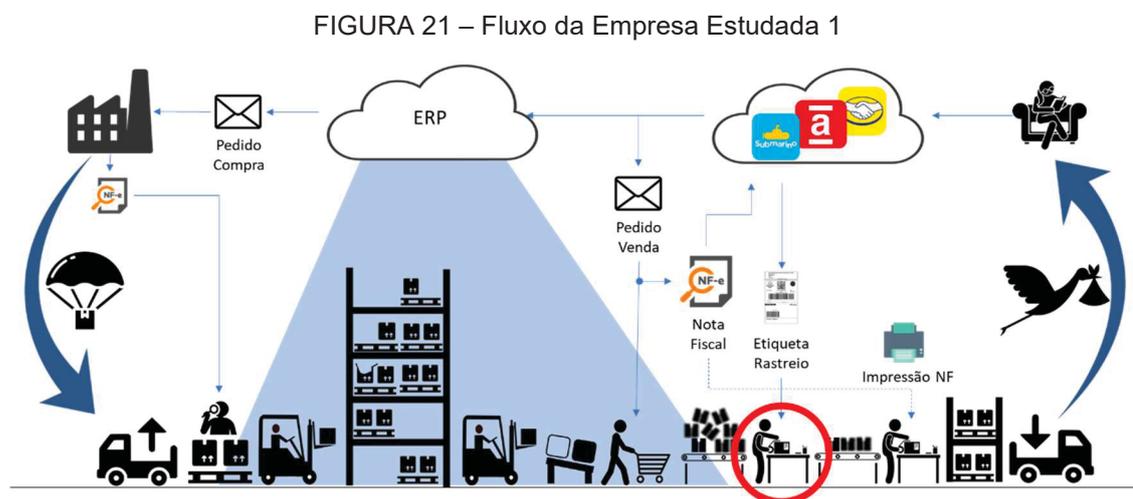
No capítulo seguinte, detalha-se cada caso utilizado para validação deste método proposto.

5 ESTUDO DE MÚLTIPLOS CASOS

Para validação do sistema de medição do MURA em atividades repetitiva buscamos conforme já relatado, amostras por conveniência e acessibilidade dos pesquisadores. Três casos são apresentados aqui. O primeiro se trata de uma estação de conferência e embalagem para produtos vendidos por *e-commerce*. O segundo é uma estação de dobra em uma empresa metal mecânica. E o terceiro caso trata-se de uma estação final de montagem de batedeiras de uso doméstico.

5.1 ESTAÇÃO DE CONFERÊNCIA E EMBALAGEM PARA *E-COMMERCE*

Trata-se de uma empresa especializada em importação de componentes eletrônicos e acessórios para informática e telefonia celular, comercializando seus produtos por meio de sites especializados em *e-commerce*. O fluxo físico de materiais visitado, inicia-se na importação dos produtos, o recebimento, armazenagem, a separação dos pedidos, a conferência e a disponibilização para coleta dos transportadores. FIGURA 21.

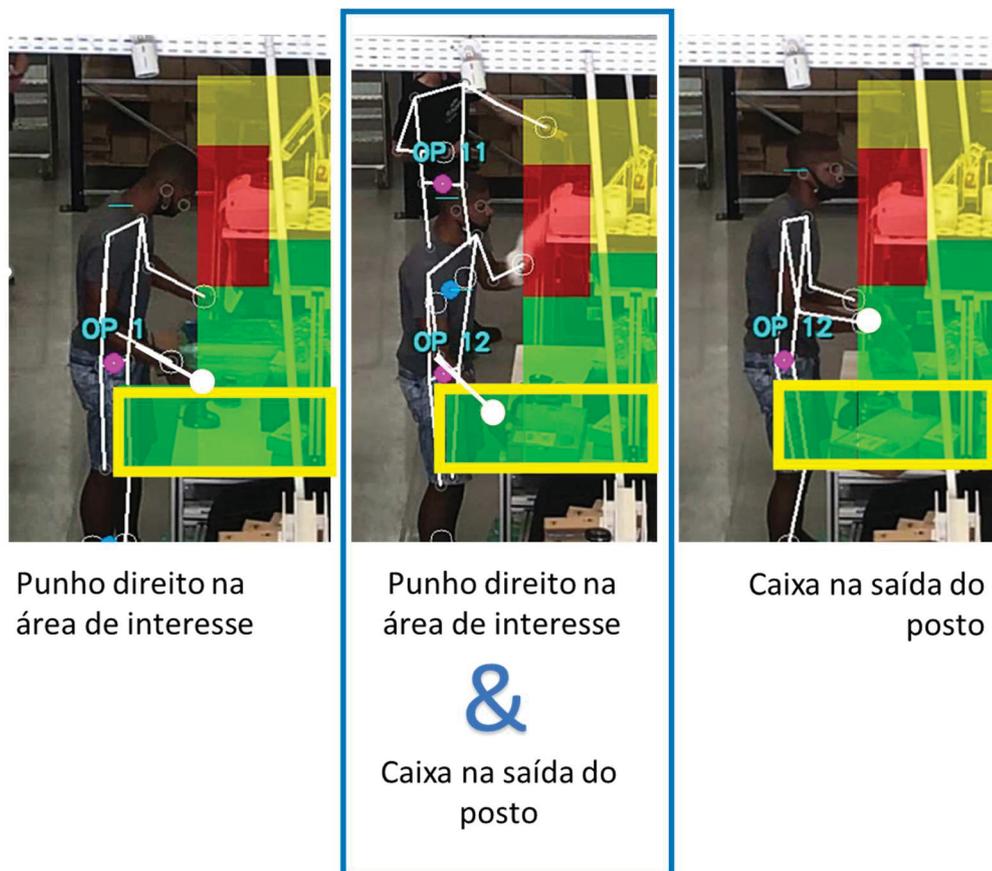


FONTE: O autor (2023)

O posto de trabalho focado foi o de conferência e embalagem dos produtos vendidos. A atividade estudada encontra-se pós separação dos pedidos fisicamente no armazém e antecede a fixação da Nota Fiscal e separação por transportadora designada. Considerado gargalo da operação no momento da visita. O conteúdo de

atividades que compõe a estação analisada são: Bipagem da caixa de separação de cada pedido, conferência física do item versus o pedido do sistema, impressão da etiqueta de rastreamento de transporte, escolha da embalagem de embarque, embala peça e fecha a caixa, cola a etiqueta de rastreamento e posiciona embalagem na saída do material. Onde a condição para marcação de ciclo é o punho direito e a caixa na saída do material. Detalhe da última atividade listada. FIGURA 22.

FIGURA 22 – Estudo de Caso 1 – Condição de Marcação do Ciclo



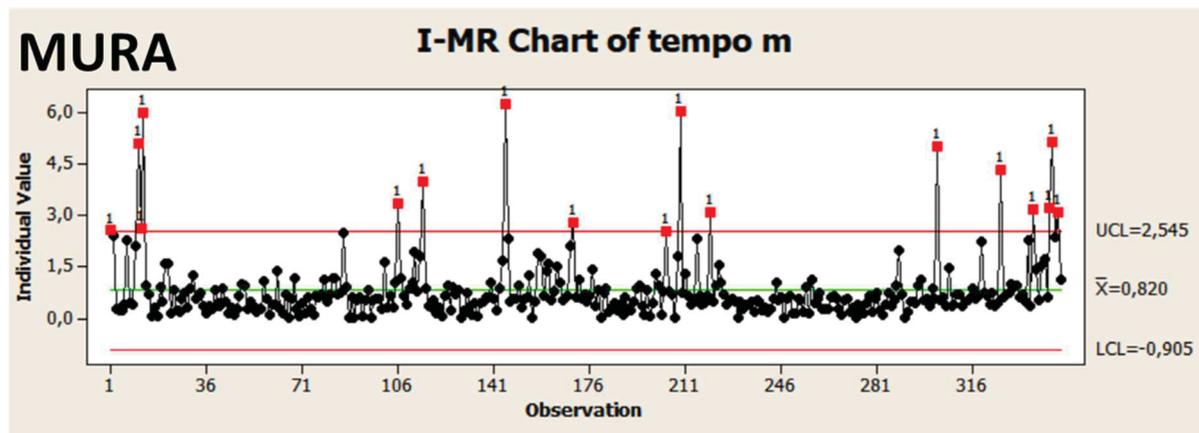
FONTE: O autor (2023)

Desta forma, foi possível obter 348 marcações de tempo entre as 7h30 até as 14h35 do dia 19 de fevereiro de 2021. O que correspondem aos 348 pacotes preparados neste intervalo de tempo no posto medido, obtendo 100% de reconhecimento dos ciclos de trabalho.

De grandes intervalos (*outliers*) registrados, obtivemos 61,47 minutos que correspondem ao horário esperado para o almoço do operador, 31,03 de uma reunião também programada pelo gestor da área e dois intervalos de descanso. Um de 9,47 e outro de 9,42 minutos. Intervalos estes, excluídos da base.

Os intervalos restantes, foram inseridos para visualização em uma carta de controle estatístico de processo. A carta de valores individuais, GRÁFICO 3.

GRÁFICO 3 – Carta de Controle Estatístico de Valores Individuais



FONTE: O autor (2023)

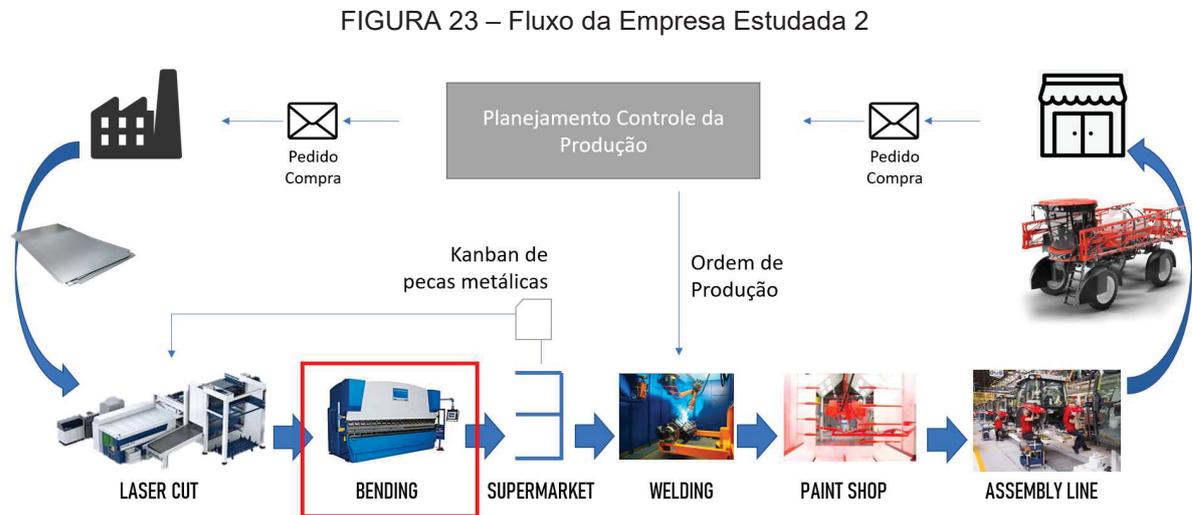
Retornando-se diretamente aos pontos sinalizados na carta de controle, foi possível identificar como causas das quebras de ritmo (MURA) os seguintes fatores em ordem de ocorrência:

- 1 – Sacos de plástico bolha abaixo da bancada que enroscam uma na outras na hora do colaborador puxá-las. As ocorrências de maior impacto, são quando um ou outro saco cai no piso quando outro é puxado. Levando o operador a se abaixar para pegá-las e colocar novamente na sua origem.
- 2 – Caixas de papelão posicionadas atrás do operador, que apresentam algum tipo de problema para dobrá-las para encaixar o produto internamente. Ou erro de avaliação de tamanho, levando a substituição dela.
- 3 – Rejeição por erro de separação.

Isto quando se analisa apenas os grandes intervalos acima do limite superior da carta de controle. Porém se analisado no detalhe a carta de controle, observa-se ainda uma fase de aquecimento logo nos primeiros intervalos, e durante o trabalho normal, há ciclos (rajadas) de trabalho seguidamente rápido (abaixo da linha média), intercalado com pequenas pausas do colaborador, indicando uma certa fadiga no processo. Média calculada em 0,820 minutos por ciclo.

5.2 ESTAÇÃO DE DOBRAS DE PEÇAS METÁLICAS

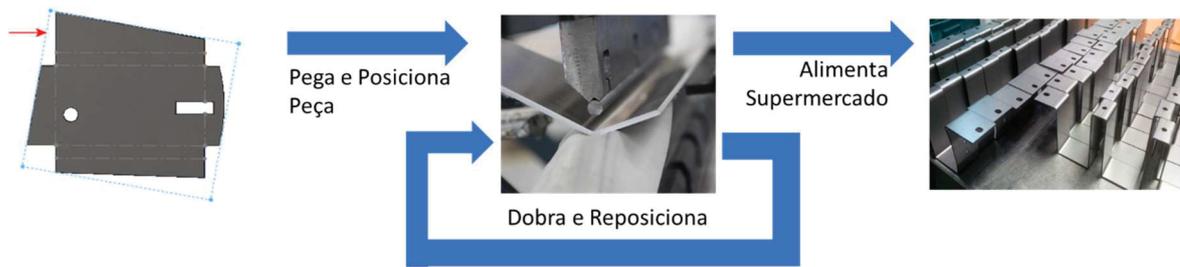
O segundo caso de validação foi aplicado sobre uma empresa fabricante de grandes maquinários agrícolas. Com o fluxo principal iniciando com chapas metálicas que são cortadas em um equipamento de corte laser, processados em estações de dobra que alimentam um supermercado de componentes assim fabricados. De acordo com o sequenciamento dos equipamentos, partes destes equipamentos são soldados utilizando-se estes componentes, pintados e montados. Conforme FIGURA 23.



FONTE: O autor (2023)

O foco da aplicação do sistema de detecção de MURA escolhido foi o processo de dobras das peças metálicas. Este processo em conjunto com o corte a laser é responsável pela reposição dos itens do supermercado interno. Uma maior produtividade sobre este processo é chave para a redução destes estoques intermediários. O conjunto de atividades deste ponto do processo é a pega de peças planas cortadas na máquina laser, o posicionamento sobre a prensa, a dobra, repetidas conforme o desenho de cada peças e a entrega das peças dobradas assim obtidas no supermercado. Conforme FIGURA 24.

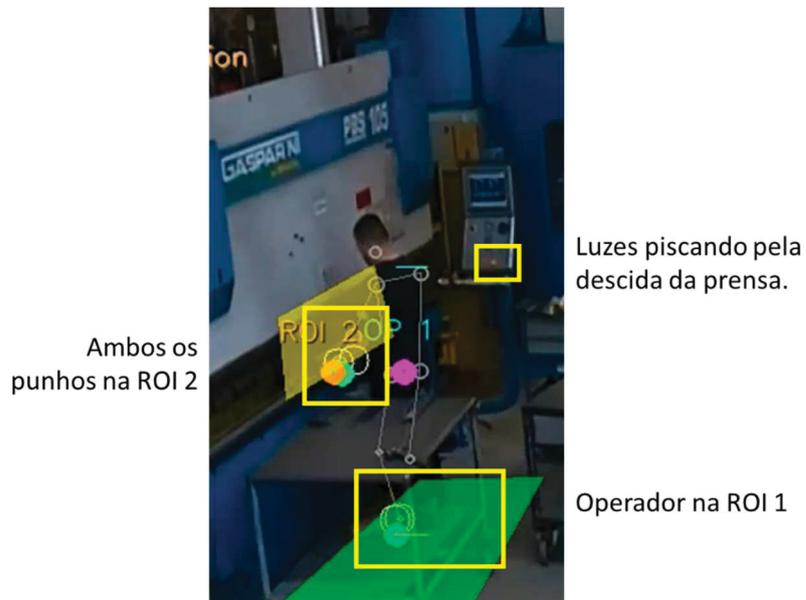
FIGURA 24 – Estudo de Caso 2 – Atividades do Posto Analisado



FONTE: O autor (2023)

A condição escolhida para marcação do tempo ciclo, foi a descida da prensa para realização da dobra, concomitantemente a presença do operador posicionando a peça de frente a máquina. FIGURA 25.

FIGURA 25 – Estudo de Caso 2 – Condição de Marcação do Ciclo



FONTE: O autor (2023)

O tempo de monitoramento para este caso foi de 42 minutos e 39 segundos. Este período gerou uma análise de 18.849 frames pelo programa. E devido ao processo ser mais cadenciado, foi possível ainda separar o tempo de monitoramento total, estratificado em presença ou não do operador no posto, da presença do posto, o tempo de pega e entrega das peças no carrinho lateral e por fim o tempo de dobra efetiva.

Desta forma, a primeira observação levantada, foi quanto a ausência do operador no posto. Do total de frames analisados, 36% tiveram a presença do operador no posto. Cruzando as informações com o gestor da área, estas ausências

se justificam pela atividade de alimentação do supermercado de peças pós este processo e busca de novos lotes para dobra. Cultura da fabricação por lotes. GRÁFICO 4 e 5.

GRÁFICO 4 e 5 – Tempo de Permanência do Operador no Posto



FONTE: O autor (2023)

Isolando os períodos de trabalho continuado onde o colaborador estava em frente ao processo, foi possível ainda estratificar em dois outros tempos. O tempo de dobra efetiva e o tempo de pega e entrega das peças sobre o carrinho de transporte utilizado (GRÁFICO 6). Percebe-se que o uso de um carrinho genérico, para transporte das peças planas resultantes do corte laser, e a devolução no mesmo carrinho forma tempos irregulares desta atividade. Sendo que um outlier identificado refere-se a um empilhamento de peças dobradas sobre o carrinho. Tempo médio desta atividade é de 14,6 segundos. Havendo um início mais rápido devido ao próprio espaço disponível. Peças planas ocupam menor volume que peças dobradas.

GRÁFICO 6 – Estudo de caso 2 - Tempo de Pega e Entrega das Peças no Carrinho



FONTE: O autor (2023)

Já a parcela do ciclo dedicado a atividades efetivas de dobras, se mostram regulares na linha do tempo. Conforme GRÁFICO 7. Condição de operador no posto, ambas as mãos sobre a máquina e luzes do painel piscando indicando a descida da prensa. A regularidade na linha do tempo foram as esperadas pela própria velocidade da prensa que comanda a operação. Pequenas variações se dão pelo posicionamento da peça sobre as ferramentas de dobra, mas nada que revele variações antinaturais no período monitorado.

GRÁFICO 7 – Estudo de caso 2 - Tempo das Dobras



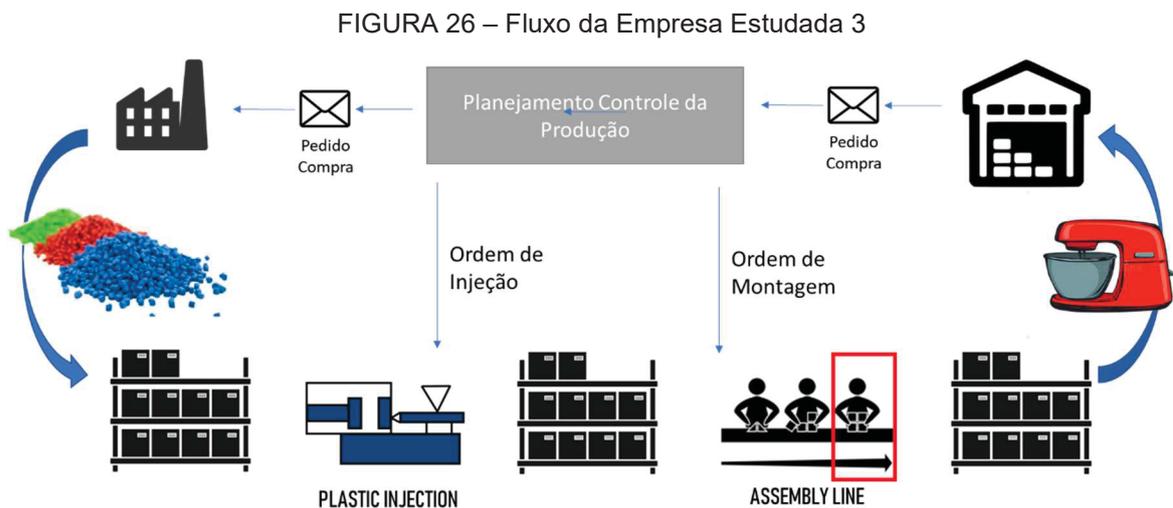
FONTE: O autor (2023)

De posse destes resultados, evidenciou-se ao gestor do processo algumas linhas de ação prioritárias. Em primeiro, a separação da atividade de abastecimento do supermercado de peças dobradas da atividade de dobra. Em segundo, uma

questão um pouco mais detalhada, no projeto de embalagens e carrinhos específicos para o fluxo de materiais que alimentam e são retirados do processo estudado.

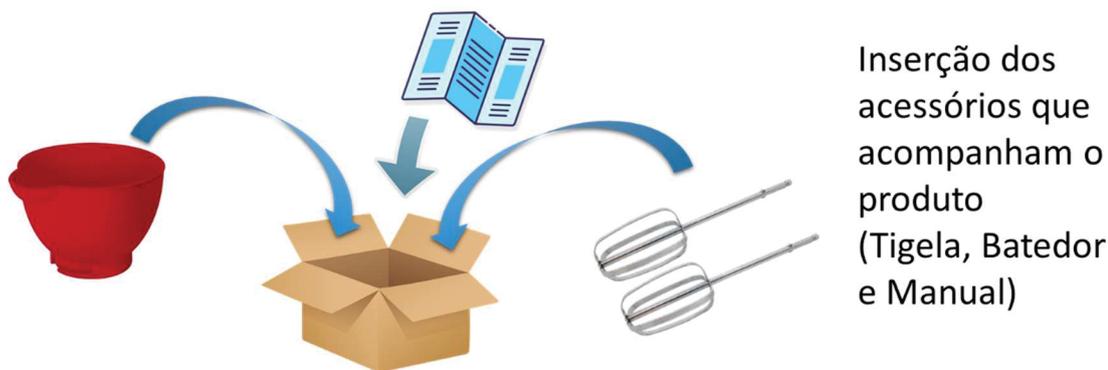
5.3 ESTAÇÃO FINAL DE MONTAGEM DE ELETROPORTÁTEIS

O terceiro e último caso deste estudo de validação do sistema de detecção do fenômeno MURA, se trata de uma empresa de fabricação de eletroportáteis. No caso a montagem de batedeiras. O fluxo produtivo deste caso, inicia-se no recebimento de matérias primas (polímeros) que passam pelo processo de injeção. As peças injetadas são então montadas com componentes diversos de aquisição externas gerando os produtos acabados. FIGURA 26.



A célula analisada é a última estação de uma linha contínua de montagem de batedeiras. A linha em questão produziu 155 produtos em 58 minutos de monitoramento. Um ritmo médio de 22 segundos. E 19,94 segundos, desconsiderando as esperas e ausências. A composição de atividades do posto, estão descritas na FIGURA 27. São as inserções finais da tigela, batedores e manuais do proprietário na caixa do produto recebida das etapas anteriores.

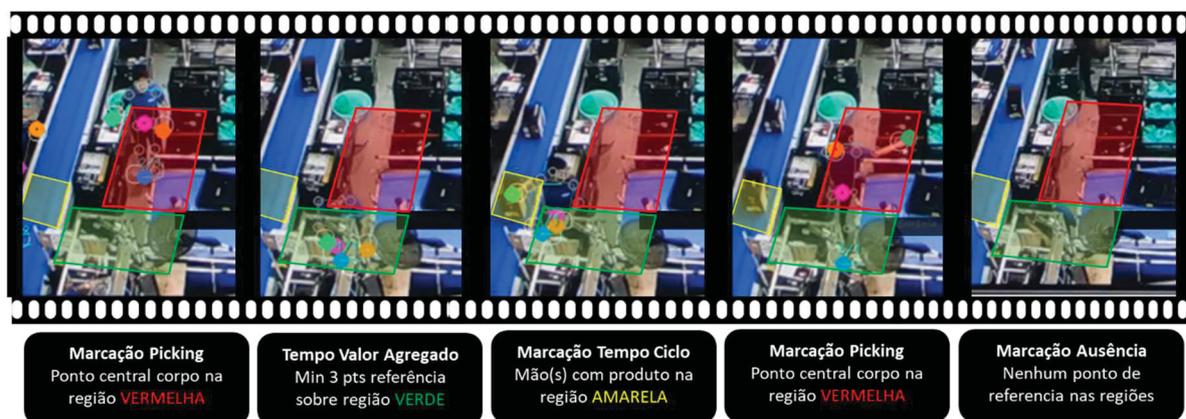
FIGURA 27 – Estudo de Caso 3 – Atividades do Posto Analisado



FONTE: O autor (2023)

Para este caso, utilizou-se as imagens de uma câmera de segurança da própria empresa. O ângulo de visão assim obtido foi uma vista superior. Onde os gatilhos de marcação do ciclo tempo foi definido pela posição do corpo na região de montagem, da posição da mão e produto sobre a esteira de entrega da célula, conforme FIGURA 28 abaixo.

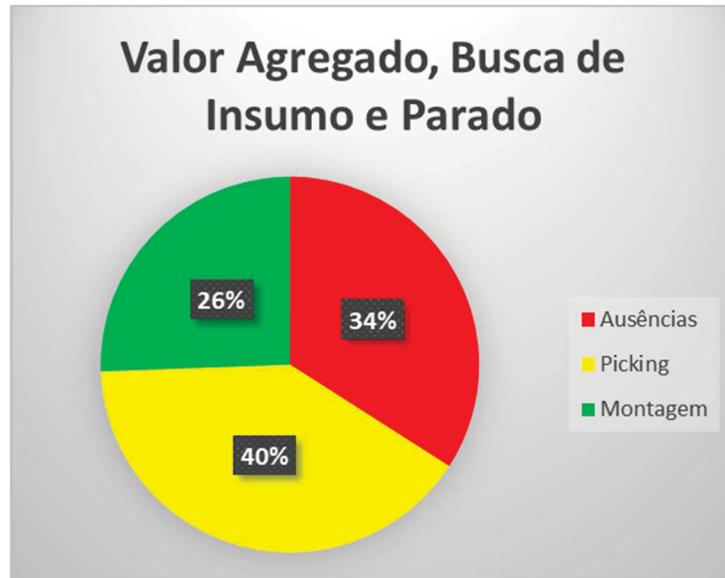
FIGURA 28 – Estudo de Caso 3 – Condição de Marcação do Ciclo



FONTE: O autor (2023)

Nesta configuração, foi possível a separação do período analisado em valor agregado, deslocamento para pega de componentes e ausências (paradas). Conforme GRÁFICO 8.

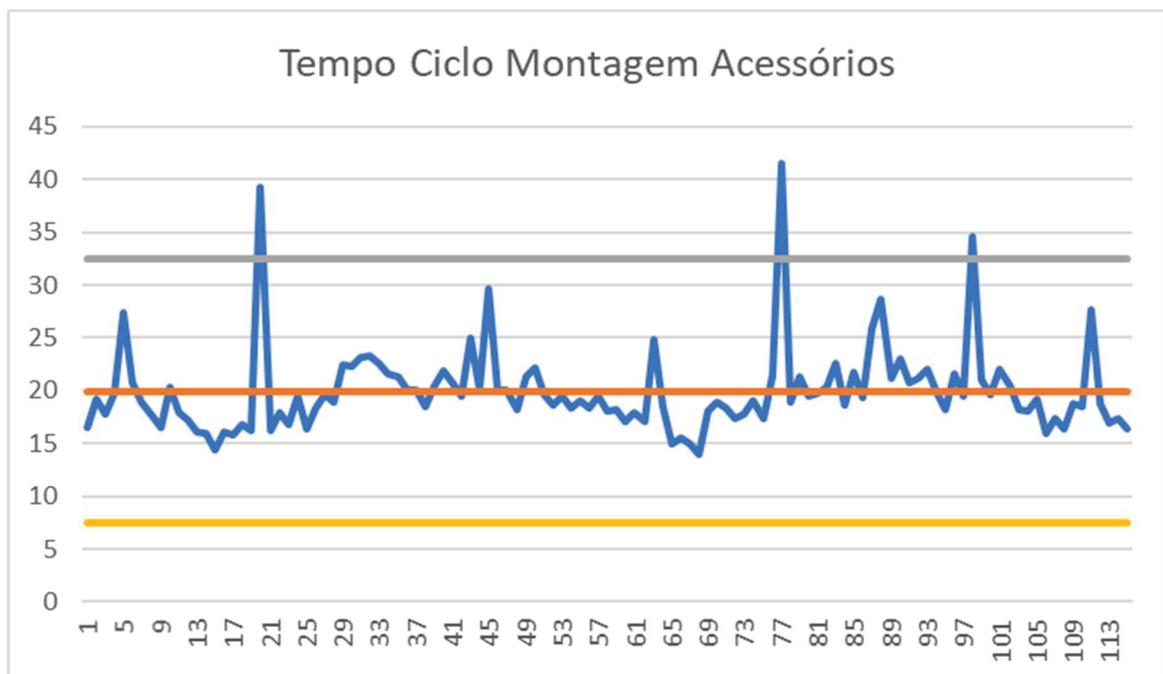
GRÁFICO 8 – Estudo de caso 3 – Classificação do Tempo Monitorado



FONTE: O autor (2023)

Onde a concentração das ausências do posto se deu concomitantemente com os outliers do tempo ciclo obtido. GRÁFICO 9.

GRÁFICO 9 – Estudo de caso 3 – Tempo Ciclo Atividade



FONTE: O autor (2023)

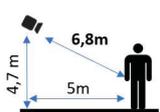
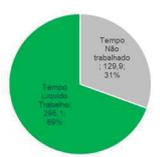
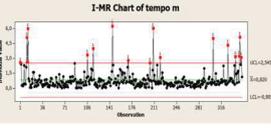
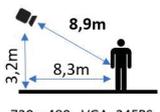
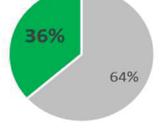
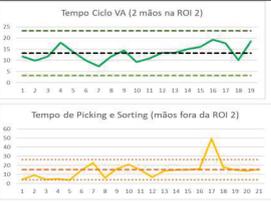
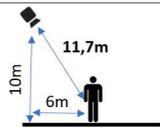
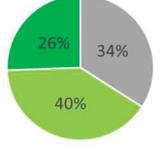
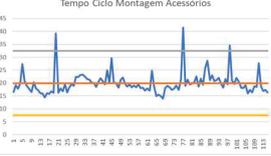
Analisando os tempos ciclos baixos da média, foi possível detectar a influência do distanciamento dos componentes em suas embalagens de abastecimento de linha

e dos eventos de troca de vazias pelas cheias no processo analisado. Desta forma, descartado as esperas e ausências devido a interrupção de estações anteriores da montagem do posto analisado, melhorias de abastecimento de componentes foram evidenciadas pela gestão do processo focado.

6 ANÁLISE DE RESULTADOS

Sob ótica do que foi detectado analisando as quebras de ritmo identificados pelo sistema de visão computacional nos casos aplicados esta se mostra rápida e sem a necessidade de análise quadro a quadro de forma humana. Não sujeito, portanto, à fadiga do próprio analista em se realizar o trabalho, bem como a subjetividade de quem realiza a atividade. Filma-se, identifica-se os pontos de marcação do ciclo, processa-se as imagens e verifica-se diretamente os pontos dos *outliers* (ausências de posto) e dos pontos fora de controle estatístico do processo esperado (QUADRO 4).

QUADRO 4 – Resumo dos Resultados Obtidos pelo Método Proposto

	Marcação do Ciclo	Cond de filmagem	Tempo Ausências	MURA	Achados
Caso 1 Packaging	<p>Punho direito na Região de interesse</p> <p>E</p> <p>Caixa na saída do posto</p>	 <p>720 x 480, VGA, 24FPS 421 minutos e 12 seg 348 ciclos identificados</p>			<p>Ausências condizem com os intervalos programados</p> <p>Insumos mal posicionados, ergonomia e fadiga, correções do processo anterior.</p>
Caso 2 Bending	<p>Luz Piscando</p> <p>E</p> <p>Ambos os punhos na ROI2</p> <p>E</p> <p>Operador na ROI1</p>	 <p>720 x 480, VGA, 24FPS 42 minutos e 39 seg 19 ciclos identificados</p>			<p>Redistribuição da dobra com a alimentação supermercado</p> <p>Sorting e Picking das peças no carrinho podem melhorar</p>
Caso 3 Assembly Line	<p>Produto na esteira ROI1</p> <p>E</p> <p>Punho na ROI1</p> <p>E</p> <p>Corpo na ROI2</p>	 <p>720 x 480, VGA, 24FPS 58 minutos 155 ciclos identificados</p>			<p>Ausências por parada de processos anterior</p> <p>Deslocamento para busca de peças e ciclicidade por grandes embalagens</p>

FONTE: O autor (2023)

Em todos os casos aplicados foram levantados pontos de dificuldade da fluidez da operação com tal precisão de impacto (número de vezes e precisão do tempo que ocorreu) que postos de forma hierarquizada revelaram aos próprios gestores uma ordem de grandeza de prioridades de ação e detalhes que não haviam percebidos anteriormente por suas equipes de analistas de melhoria contínua. Ou se eram percebidas, não havia métricas para sustentar os ganhos potenciais do processo.

Dos tipos de MURA levantados na revisão bibliográfica foi possível atestar dois dos tipos listados na FIGURA 16 diretamente com o método proposto. O gerado pela cultura de fabricação em lotes nos casos de fabricação em rajadas. O da variação do passo do trabalho através das cartas de controle. Já pela distribuição irregular entre postos de trabalho sequenciais, no estudo de caso 3, alguns intervalos antinaturais verificados no último posto da linha foram indicadas como ausência de produtos em processos ocasionados por problemas das etapas anteriores. De qualquer forma, seria possível uma verificação mais direta deste último tipo de MURA, aplicando-se o método proposto em postos sequenciais. Obtendo-se assim dados precisos para alimentar uma simulação de teoria das filas e observar com maior precisão e propriedade o balanceamento de linha.

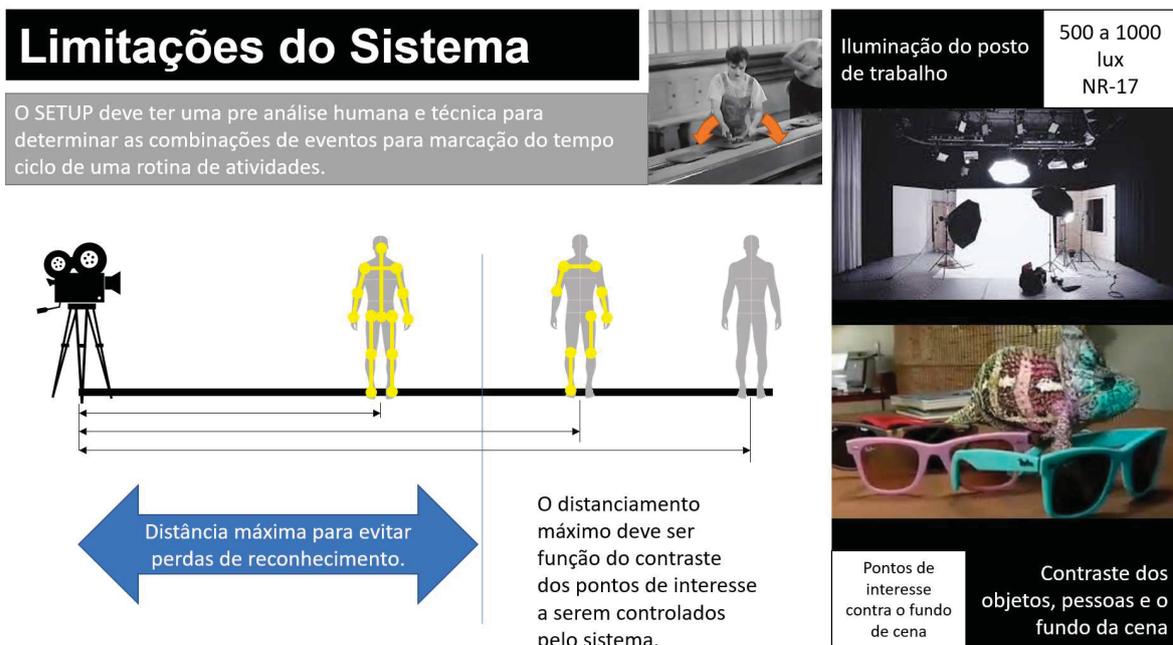
Sob ótica da precisão, ressaltamos que uma filmagem normalmente trabalha com 24 frames por segundo e quando aplicados em câmeras mais sofisticadas para suportar composições em câmera lenta, muitas das câmeras comerciais podem chegar até 120 fps. Portanto mesmo que o software para fins de economia de processamento processe de 10 a 8 frames por segundo, esta se torna mais precisa que uma análise manual realizada sobre um vídeo gravado ou uma observação direta e sem a subjetividade da interpretação do analista ou a fadiga do mesmo em uma observação de longo período.

Ainda sob a ótica do sistema ser baseado em análise de vídeos há de ressaltar algumas limitações derivadas do próprio meio de medição. Um primeiro ponto a ser observado é o próprio enquadramento e estabilidade da imagem obtida. Como o sistema se baseia em regiões de interesse com a combinação de pontos do corpo humano e objetos presentes ou não nestas regiões, manter-se fixo a câmera é primordial. O sistema só funciona quando a filmagem é feita com a câmera sobre tripé. Mínimos movimentos da câmera deslocam os limites das regiões de interesse delimitadas sobre a gravação.

Outro ponto de restrição importante se encontra nas condições de contraste, iluminação e distância dos objetos e pessoas de interesse em relação a câmera de gravação. Quanto maior distanciamento do objeto ou se as condições de contraste do fundo de cena menor é o percentual de reconhecimento e interpretação do software e suas bibliotecas. De nossos estudos de aplicação pessoas a uma distância maior que 12 metros houve significativa perda de continuidade de medição. Também se percebeu que uniformes do colaborador que não contrastam com o fundo de cena,

seja ela do piso ou dos equipamentos também mostra este problema de perda da estimativa das posições corporais, o mesmo acontecendo com objetos em determinadas posições. Desta forma, para aprofundamento do tema do uso de câmeras para medição do fator humano dentro de processos produtivos sugere-se testes de combinação de distâncias, resolução de filmagem (todas as nossas aplicações foram realizadas com a resolução de 720 x 480 pixels, sem nenhum equipamento de iluminação auxiliar), condições de contraste ou iluminação, percentual do corpo desobstruído etc. Para melhor mapeamento de aplicabilidade destes sistemas. FIGURA 29.

FIGURA 29 – Limitação do Sistema por Visão Computacional



FONTE: O autor (2023)

Há formas de se contornar estas limitações, como o uso de mais de uma câmera filmando a estação de trabalho e sincronizando elas via software para fins de conclusões desejadas, conforme a própria publicação da FACCIO et al (2019) sugere. Não sendo o caso deste estudo. Todas as análises obtidas foram realizadas com um único enquadramento do posto. De qualquer forma como propomos a detecção de MURA pela medição do intervalo de tempo decorridos entre dois marcos do ciclo de trabalho analisado, pode-se cruzar estes apontamentos com outros sistemas presentes no posto de trabalho. Como impressoras, parafusadeiras de torque

rastreado, abertura de máquinas, ou qualquer outro dispositivo que possua capacidade de sensoriamento e registro de um *timestamp* de um evento qualquer dentro do ciclo de atividades previstas para o posto. A pesquisa de causas para as variações não seria tão prática, pois a visualização dos eventos é extremamente elucidativa, mas poderiam ao menos direcionar a pesquisa para ciclos específicos do período monitorado.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Observar atentamente e por um período longo a produção é uma das práticas difundidas pelo Sistema Toyota de Produção. O Círculo do Ohno, o *Guemba Walking*, entre outras “ferramentas” de identificação de oportunidades de melhoria no chão de fábrica atestam esta importância do entendimento mais amplo dos fenômenos que acontecem em uma fábrica. O sistema aqui proposto, baseado em visão computacional para identificação das anomalias de um processo produtivo é uma ferramenta impulsionadora destas práticas.

Como é baseado em bibliotecas de reconhecimento de elementos em uma imagem captada por câmeras de filmagem esta se mostra rápida e isenta de vícios de um observador humano. Trazem também uma precisão de marcação do tempo dos eventos desejados uma vez que o processamento destas se dão em quadros por segundo. Estes elementos assim configurados geram bases de dados que permitem a identificação do fenômeno MURA, ou quebra de ritmo, de forma rápida e precisa. Ajudando a entender profundamente os ritmos naturais da atividade e os eventos externos que deturpam o andamento do processo. E que por fim, o mapeamento destes eventos externos fornece elementos factuais, hierarquizados pelo impacto, que permitem e subsidiam ações de melhoria destes processos.

Ainda sobre o sistema de medição aqui proposto, evidenciou-se algumas limitações oriundas do próprio processo de filmagem. A fixação da câmera para estabilidade do enquadramento da imagem, as limitações de distância dos elementos focados, o contraste entre objetos e pessoas de interesse em relação ao fundo da imagem são exemplos destas limitações. Recomenda-se neste ponto a criação de sistemas híbridos com redundância de medições cruzando dados obtidos pela visão computacional com outros sensores presentes nos postos de trabalho, tais como sensores de presença, acionamento de máquinas, parafusadeiras eletrônicas entre outros dispositivos que possam captar o tempo exato de seus acionamentos. Conferindo assim maior precisão ao sistema de detecção de anomalias do processo.

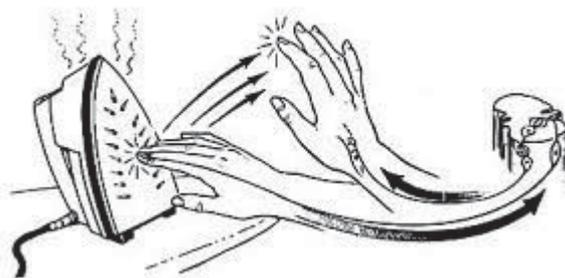
Por fim, a abordagem de análise baseado na quebra do ritmo de produção, o MURA, se mostrou muito prática para a localização dos problemas do posto de trabalho. Fornecendo uma espécie de índice na linha do tempo para o aprofundamento da análise de causas do que está acontecendo no processo. Embora a afirmação de PIENKOVSKI (2014) onde o MURA é causa do MURI e MUDA não

pôde ser comprovada por esta pesquisa, foi possível constatar uma estreita interrelação entre estes três inimigos da produtividade da manufatura. Nos estudos de caso aqui demonstrados, estes três inimigos se mostraram presentes quase que simultaneamente nos ciclos anômalos de trabalho flagrados pelo sistema aqui proposto. O MURA, o MURI e o MUDA interagem entre si, qual seria causa ou efeito depende apenas de qual antecedeu outra na secção da linha de tempo analisado. O que fica claro é que a melhoria do processo só é possível com uma abordagem conjunta e simultânea sobre estes três inimigos.

A respeito de recomendações sobre pesquisas futuras, além de evoluções sobre condições de filmagem ideais, bibliotecas específicas de reconhecimento de objetos e algoritmos mais robustos e rápidos de processamento de imagens aplicados ao ambiente produtivo, duas aplicações práticas foram vislumbradas durante o desenvolvimento deste trabalho. São elas:

1 – Identificação de acidentes ou quase acidentes. Através da análise da velocidade e amplitude dos movimentos do operador, seria possível identificar movimentos de reflexo, como exemplificado na FIGURA 30? Caso positivo, uma observação continuada do processo, poderia ser identificados desvios e quase acidentes que podem estar ocorrendo no posto de trabalho. Uma anomalia que identificada, quantificada e combatida pode apoiar os gestores no progresso ao Zero Acidentes.

FIGURA 30 –Exemplo de Ato de Reflexo



FONTE: Ladevig (2020)

2 – Outro ponto de pesquisa futura, seria a correlação entre irregularidades do processo produtivo com problemas de qualidade dos efeitos. Conforme YAMASHINA (2008), deve existir uma correlação de defeitos com o MURA. Caso esta correlação possa ser comprovada, sistemas de monitoramento do

tempo ciclo de uma atividade poderia ser ligadas a pontos de inspeção a jusante do processo. Assim como rastreamento de torque alimentam pontos de inspeção em linhas de montagem de automóveis por exemplo.

Desta forma, assim como os trabalhos publicados por BORTOLINI (2018), PERUZINNI (2018) e FACCIO (2019) demonstram, a aplicação de visão computacional sobre processos produtivos fornece um amplo campo de possibilidades a serem exploradas para melhoria em vários desafios comuns aos gestores de produção. O zero acidente, o zero quebra, o zero desperdício, entre outros podem obter inúmeros impulsionadores através do uso da visão computacional.

8 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.
- GIL, A. C. Como elaborar Projetos de Pesquisa. 5a. Ed. Atlas, São Paulo, 2010.
- LEVY, Y.; ELLIS, T.J. A system approach to conduct an effective literature review in support of information systems research. *Informing Science Journal*, v.9, p.181-212, 2006.
- MARCONI, M.; LAKATOS, E. Fundamentos de Metodologia Científica. 7a. Edição, Editora Atlas, São Paulo, 2010.
- 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.
- PIENKOWSKI, 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. (2006). Mura, Muri, Muda? Lean Enterprise Institute. Disponível em https://www.lean.org.br/comunidade/artigos/pdf/artigo_350.pdf

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.

YIN, R.K. Case study research. Design and methods . 2nd ed. London, Sage Publications, 1994.