



GUSTAVO PORTO AZEVEDO DE FREITAS

**REDUÇÃO DE DESBALANCEAMENTO DE UMA LINHA DE
PRODUÇÃO POR MEIO DA JUNÇÃO DE DUAS
OPERAÇÕES EM CÉLULAS DE MONTAGEM DE
AUTOPEÇAS**

LAVRAS – MG

2020

GUSTAVO PORTO AZEVEDO DE FREITAS

**REDUÇÃO DE DESBALANCEAMENTO DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO
POR MEIO DA JUNÇÃO DE DUAS OPERAÇÕES EM CÉLULAS DE MONTAGEM
DE AUTOPEÇAS**

Relatório Técnico apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Leonardo Silveira Paiva
Orientador

**LAVRAS – MG
2020**

GUSTAVO PORTO AZEVEDO DE FREITAS

**REDUÇÃO DE DESBALANCEAMENTO DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO
POR MEIO DA JUNÇÃO DE DUAS OPERAÇÕES EM CÉLULAS DE MONTAGEM
DE AUTOPEÇAS**

**REDUCING THE UNBALANCING OF PRODUCTION LINE THROUGH
THE JOIN OF TWO OPERATIONS IN AUTO PARTS ASSEMBLY CELLS**

Relatório Técnico apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 17 de agosto de 2020.
Me. Gabriel Cambraia Soares
Me. Filipe Alves Pereira Bento

Prof. Dr. Leonardo Silveira Paiva
Orientador

**LAVRAS – MG
2020**

*À toda minha família, professores, minha namorada,
amigos e irmãos da República Batman pelo apoio
durante os meus anos de graduação.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, sobretudo ao Departamento de Engenharia e Departamento de Automação.

Ao professor Leonardo Silveira Paiva, pela orientação e apoio dado durante a elaboração deste trabalho.

A todos os docentes do curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade de Lavras.

RESUMO

Nos últimos anos, o setor industrial vem sofrendo muitas mudanças; o avanço tecnológico em conjunto com a informatização das indústrias tem contribuído para a evolução do conceito de indústria 4.0 no Brasil e no mundo. De fato, uma empresa que não se adaptar à nova revolução industrial dificilmente conseguirá se manter frente aos concorrentes. A automatização, flexibilização e produtividade dos processos tende a aumentar consideravelmente nas empresas que se adaptarem à nova realidade. Além disso, para destacar-se ainda mais no meio industrial, os sistemas de gestão necessitam ser cada vez mais eficientes, aprimorando os processos produtivos e reduzindo custos. O *World Class Manufacturing (WCM)* no presente trabalho é a metodologia de gestão adotada, que consiste em aplicar seus pilares técnicos e gerenciais, utilizando ferramentas buscar o nível de excelência na cadeia produtiva de autopeças. Dessa forma, esse projeto trouxe melhoria em produtividade por linha de produção, melhora na segurança da operação e eficiência de mãos de obra, acarretando um bom ganho financeiro para a companhia.

Palavras-chave: *World Class Manufacturing. Autopeças. Focused Improvement. Safety. Professional Maintenance*

ABSTRACT

In the last few years, the industrial segment has been going through significant changes; technological breakthroughs along with industrial computerization have contributed to the development of a 4.0 industry concept both in Brazil and worldwide. In actual fact, companies which do not adapt to the new industrial revolution are unlikely to keep pace with competitors. Process automation, flexibilization and productivity tend to increase considerably in companies that conform to the new reality. Moreover, in order to excel in the industrial sector, management systems have to become increasingly efficient so as to enhance production processes and reduce costs. This paper uses World Class Manufacturing (WCM) as a management methodology; it consists of employing technical and managerial principles, by means of tools that allow for excellence in the production chain of automotive parts. Thus, this process has brought about an improvement in productivity by production line, as well as in operation safety and workforce efficiency, which results in financial gain.

Keywords: *World Class Manufacturing. Auto parts. Focused Improvement. Safety. Professional Maintenance*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura de WCM.....	16
Figura 2 – Estrutura dos pilares técnicos e gerenciais do WCM.....	18
Figura 3 – Exemplos de STEP's do pilar AM.....	18
Figura 4 – Ciclo PDCA.....	21
Figura 5 – Os STEP's do pilar PM.....	24
Figura 6 – Exemplo de cortina de luz de segurança.....	26
Figura 7 – Layout de toda a célula antes da implementação do projeto.....	30
Figura 8 – Dispositivo instalado na prensa.....	32
Figura 9 – Programa em Ladder.....	33
Figura 10 – Layout antes.....	35
Figura 11 – Novo layout.....	36
Figura 12 – Comparativo dos layouts.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Operações Célula de Montagem.....	30
Tabela 2 – Análise de Custos e Ganhos.....	39
Tabela 3 – Comparação de Produtividade.....	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Gráfico de Balanceamento de Operações (GBO).....	25
Gráfico 2 – Gráfico de Balanceamento de Operações.....	31

LISTA DE SIGLAS

AM	<i>Autonomous Maintenance</i>
FI	<i>Focused Improvement</i>
JIT	<i>Just In Time</i>
PM	<i>Professional Maintenance</i>
SF	<i>Safety</i>
TIE	<i>Total Industrial Engineering</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TQC	<i>Total Quality Control</i>
UFLA	Universidade Federal de Lavras
WCM	<i>World Class Manufacturing</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	Objetivos Gerais.....	14
2.2	Objetivos Específicos.....	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1	WCM – <i>World Class Manufacturing</i>.....	15
3.2	Pilares do WCM.....	17
3.2.1	Pilar <i>Safety</i> – SF.....	20
3.2.2	Pilar <i>Focused Improvement</i> – FI.....	20
3.2.3	Pilar <i>Professional Maintenance</i> – PM.....	22
3.3	Gargalo, Balanceamento e Desbalanceamento.....	24
3.4	Cortina de Luz de Segurança.....	25
3.5	Indústria 4.0.....	27
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
4.1	Análise de Balanceamento.....	30
4.2	Layout e Abastecimento.....	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
5.1	Segurança e Manutenção.....	37
5.2	Eficiência.....	37
5.3	Produtividade.....	39
6	CONCLUSÃO.....	40
6.1	Perspectivas Futuras.....	40
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil vem produzindo um elevado número de carros, com crescimento entre os anos de 2017 e 2018 de 2.69 milhões para 2.88 milhões respectivamente, cerca de 6,7% de aumento (ANFAVEA, 2019). Para suportar tal crescimento, as fábricas de autopeças têm aumentado gradativamente sua produção, já que suportam alguns mercados internacionais e também o grande mercado de reposição. Nesse contexto, temos a multinacional Magneti Marelli presente em Lavras, produzindo cerca de 64 mil amortecedores por dia, que variam desde amortecedores para porta malas, gavetas até amortecedores de maior porte para ônibus, caminhões, etc. O sistema de suspensão dos veículos é fundamental para a segurança do mesmo, amortecendo impactos e garantindo a estabilidade dos carros mantendo o contato dos pneus com o solo. O grupo FCA (*Fiat Chrysler Automobiles*) adota a metodologia WCM (*World Class Manufacturing*), que é uma metodologia de processos, incluída no contexto do *Lean* – a produção enxuta – e desenvolvida pela Fiat (um caso de sucesso do WCM). Como a Magneti Marelli até poucos meses atrás era uma companhia desse grupo, ela também adota essa metodologia de excelência operacional. Vale ressaltar que a companhia Magneti Marelli foi vendida em outubro de 2018 por 6,2 bilhões de euros para o grupo americano KKR, fundindo a *Calsonic Kansei* (CK) com a italiana Magneti Marelli.

A Magneti Marelli possui sua sede central em Milão, na Itália. Ela opera em âmbito internacional, fornecendo produtos, sistemas e componentes de alta tecnologia para o mundo automotivo. O grupo está presente em 5 continentes e em 20 países (Itália, França, Alemanha, Espanha, Reino Unido, Romênia, Polônia, República Checa, Rússia, Sérvia, Eslováquia, Turquia, Estados Unidos, México, Brasil, Argentina, China, Japão, Índia e Malásia). A empresa conta com cerca de 44000 colaboradores e possui 85 unidades produtivas, sendo a planta de Lavras a maior fábrica de sistemas de suspensão do grupo. A Magneti Marelli trabalha em sete linhas de negócios:

- a) Sistemas Eletrônicos
- b) Iluminação Automotiva
- c) *Powertrain*
- d) Sistemas de Suspensão
- e) Sistemas de Exaustão
- f) *Motorsport*
- g) Peças de reposição e Serviços

Além da fábrica de amortecedores de Lavras (MG), ela também possui fábricas em Santo André (SP) e Mauá (SP). Possuindo também em Mauá o maior centro de pesquisa e desenvolvimento de amortecedores da América Latina. Com participação de 60% à 70% do mercado de equipamentos originais, e com mais de 60% de mercado de reposição nacional e internacional, a Magneti Marelli chegou a faturar 8.2 bilhões de euros em 2017. Líder incontestável do mercado de amortecedores no Brasil e no mundo, ela tem como objetivo aumentar o *know-how* e suas competências, por meio de melhorias contínuas (Metodologia WCM), com intuito de desenvolver sistemas e soluções para a mobilidade segundo seus critérios de sustentabilidade ambiental, segurança e satisfação a bordo dos veículos.

O WCM é a metodologia mais utilizada por empresas de grande porte no Brasil e no mundo para gerir seus processos, melhorias e operações. Ele se baseia em 10 pilares técnicos e 10 pilares gerenciais, que ao longo do presente trabalho serão explicados de forma mais detalhada. Segurança, produtividade e qualidade são de suma importância para verificar se metodologia WCM vêm dando resultado, e também se as melhorias implementadas nos processos diariamente através dos kaizens estão gerando bons resultados para segurança, qualidade ou produtividade.

Abordaremos como temas principais os pilares PM (*Professional Maintenance*), FI (*Focused Improvement*) e SF (*Safety*) presentes na metodologia WCM adotada pela empresa. Com auxílio de ferramentas do WCM vislumbrou-se a oportunidade de rebalancear as atividades de uma célula de produção, obtendo dessa forma melhor eficiência e produtividade da linha de produção, além de tornar o processo mais seguro por meio da adequação da “nova máquina” à NR-12 (ABNT, 2016).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

O objetivo deste trabalho é a implementação de um projeto e a realização de melhorias em uma linha de montagem de amortecedores dianteiros. Isso se dará por meio da junção de duas estações de trabalho que, até então, funcionavam separadamente em comunhão com uma instrumentação atrelada ao sensoriamento, possibilitando, então, uma melhora da produtividade da célula.

2.2 Objetivos Específicos

Este trabalho visa apresentar um projeto de rebalanceamento de atividades realizadas por operadores de produção, com intuito de melhorar a produtividade e, conseqüentemente, a eficiência de uma célula de produção, em parceria com o pilar de Manutenção Profissional (*Professional Maintenance* - PM), Segurança (*Safety* - SF) e time de implementação de melhorias da planta de Lavras.

De forma geral, pode-se subdividir o objetivo desse trabalho nos seguintes itens:

- 1 – Análise do balanceamento já existente na célula de produção;
- 2 – Identificar possíveis melhorias de balanceamento e/ou fluxo do processo;
- 3 – Rebalanceamento e mudanças no fluxo de material da célula;
- 4 – Adequação da máquina e dispositivo desenvolvido para junção das operações;
- 5 – Avaliação dos ganhos obtidos pela companhia após a implementação do kaizen;
- 6 – Verificação dos benefícios de segurança, eficiência e produtividade propostos;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Para o desenvolvimento deste trabalho, é necessário entender o que é e como se aplica a metodologia WCM, os principais pilares abordados e as ferramentas utilizadas por cada pilar para a melhoria do processo, desde o estudo do balanceamento até a implementação e validação do projeto.

3.1 WCM - *World Class Manufacturing*

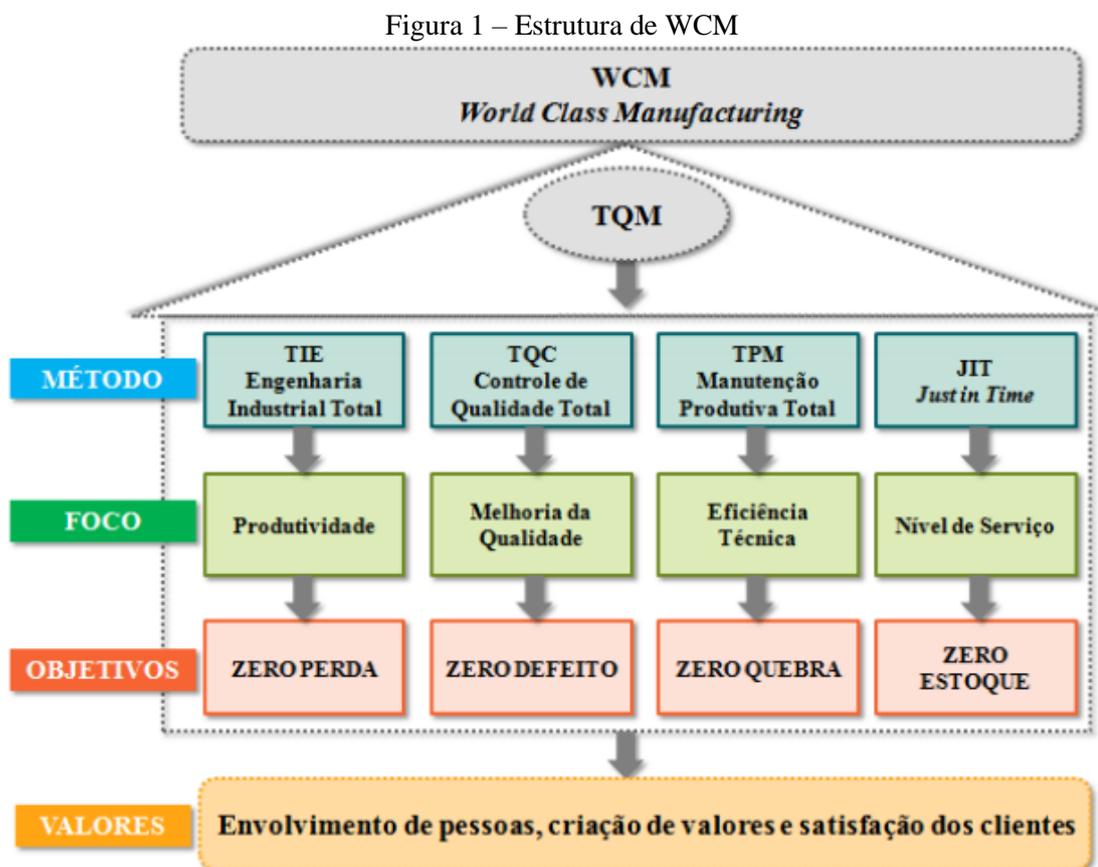
Conhecido mundialmente por apresentar um sistema de gestão integrada que visa excelência operacional de toda a cadeia produtiva, a metodologia WCM (*World Class Manufacturing* ou Manufatura de Classe Mundial) teve início após a segunda guerra mundial, no Japão, no Sistema Toyota de Produção, segundo Ketter (2006). Com o país devastado pela guerra, os engenheiros da Toyota, após uma visita à Ford, tiveram que repensar o processo de manufatura que adotavam, visto que não era competitivo com o adotado pelos Estados Unidos. Então decidiram criar uma abordagem que estivesse à altura da manufatura em massa, de grande escala e adequada à situação japonesa pós guerra. O objetivo era criar uma metodologia única, com características fiéis aos seus conceitos.

O primeiro registro do termo WCM, conforme Martins (2011), como um conjunto de conceitos, princípios e técnicas para a gestão de processos operativos de uma empresa, foi feito por Richard Schonberger, como o resultado de suas experiências nos Estados Unidos em meados da década de 1980.

De acordo com Womack, Jones e Roos (2004), foi a partir de então que surgiram os primeiros conceitos de manufatura enxuta, na década de 80, originalmente desenvolvido na Toyota, gerando uma série de valores e métodos que com o tempo se tornaram conceitos com o objetivo de zero perdas, zero quebras, zero estoque e zero defeitos. O conceito Zero Ótimo foi muito difundido por meio dos sistemas *Just In Time* (JIT), *Total Productive Maintenance* (TPM), *Total Quality Control* (TQC) e *Total Industrial Engineering* (TIE) destacados por Schonberger (1986).

Yamashina (2000) defende que uma empresa não pode simplesmente cortar seus custos para se tornar um competidor de grandeza mundial. É preciso que haja investimento dos recursos em áreas certas para aumentar seu diferencial competitivo. É esta a proposta do WCM, uma vez que teve seu desenvolvimento com o propósito de identificar e solucionar os problemas recorrentes envolvendo colaboradores aptos à esta resolução e avaliando os custos necessários à mesma.

Desta forma, os objetivos supracitados são mais passíveis de serem atingidos, como indicado na Figura 1. Nesta, é perceptível que o WCM considera quatro métodos que fazem parte do sistema TQM (*Total Quality Management* ou Gestão da Qualidade Total). São eles, o TIE, o TQC, o TPM e o JIT.



Fonte: Felice, Petrillo e Monfreda (2013)

O TIE (*Total Industrial Engineering* ou Engenharia Industrial Total) possui como foco a aplicação dos conceitos da engenharia para uma maior produtividade e, conseqüentemente, menos desperdícios de insumos. O TQC (*Total Quality Control* ou Controle da Qualidade Total), por sua vez, visa uma melhoria na qualidade dos produtos, para que apresentem menos defeitos. Já no TPM (*Total Productive Maintenance* ou Manutenção Produtiva Total), defende-se que haja uma manutenção nos sistemas da produção e uma eficiência na mesma que permitam menos quebras das máquinas, o que acarretariam menos paradas. Por último, o JIT (*Just In Time* ou Momento Certo) objetiva que seja produzida a quantidade exata no que a empresa se propõe a produzir para, assim, evitar acúmulo de produto parado no estoque. Assim, a junção dos quatro métodos permite à empresa uma maior satisfação dos clientes, além o envolvimento dos seus trabalhadores nos processos produtivos.

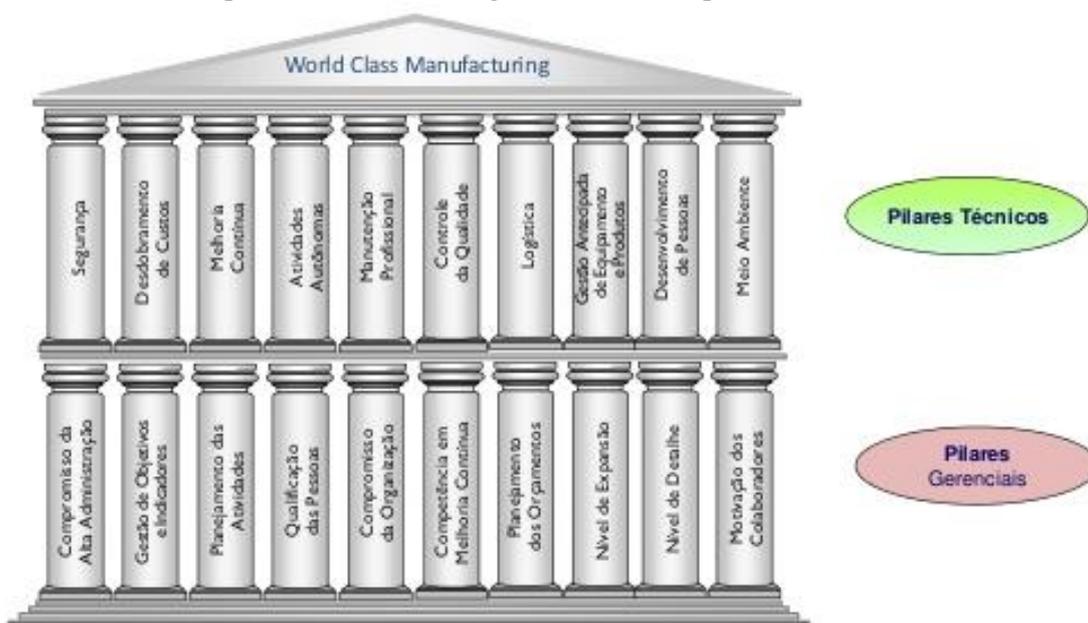
Com a escassez de recursos no Japão, os japoneses eram instruídos a não desperdiçar nada. No decorrer do tempo isso foi se enraizando na cultura oriental, sempre gerindo muito bem os recursos disponíveis, com foco no longo prazo e, conforme o *Lean Institute Brasil* (2013), embora poucas empresas que aplicaram esta mentalidade tenham conseguido o mesmo nível de sucesso da Toyota, os resultados obtidos pelas mesmas já podem ser considerados satisfatórios. Mesmo advinda da prática manufatureira, esta mentalidade se espalhou e foi adaptada para outros setores, de modo a se tornar tanto uma filosofia seguida pelas empresas quanto cultura empresarial. Desta forma, para Ohno (1997), cada empresa obtém um resultado singular, pois se tratam de setores distintos da economia e que, atualmente, se encontram em um cenário diferente daquele em que se enquadrava a Toyota.

Tendo como objetivo a aplicação dos sistemas citados acima em grande parte dos processos para que as organizações em escala mundial conquistassem uma melhoria nos seus desempenhos, em 2005 o Dr. Hajime Yamashina, Professor Emeritus da *Kyoto University* e membro do RSA (*Royal Swedish Academy of Engineering Sciences*), um dos maiores estudiosos do Sistema Toyota de Produção (*Toyota Production System - TPS*), encarou o desafio de desenvolver o sistema estruturado de gestão metodológica que conhecemos por WCM. Formatado inicialmente para o Grupo Fiat, com objetivo de reduzir custos, e otimizar a logística, qualidade, manutenção e produtividade a níveis de excelência mundial, a metodologia foi dividida em dez pilares gerenciais e 10 pilares técnicos que servem de suporte para que os objetivos sejam atingidos. Assim, quando Schonberger (1986) trata de uma manufatura de ordem mundial, ele não se refere ao programa da montadora, ainda que os conceitos, técnicas ou até as ferramentas possam convergir.

3.2 Pilares do WCM

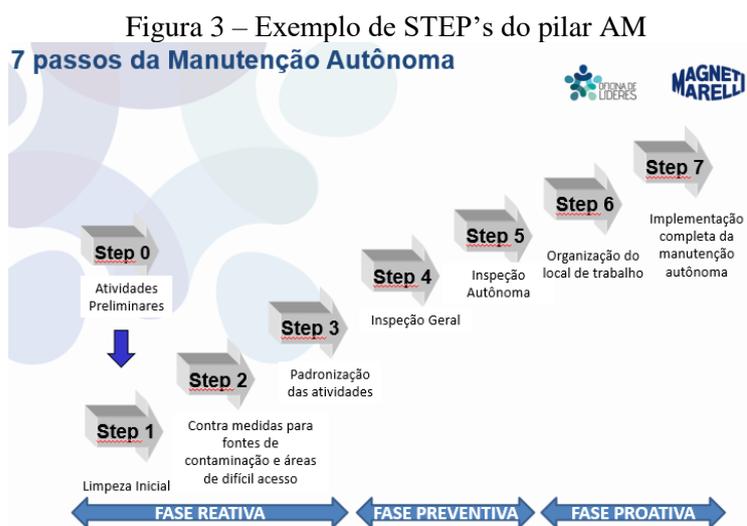
O WCM, como pode-se perceber na Figura 2, é composto por 10 pilares gerenciais que fornecem base para os 10 pilares técnicos. Os pilares gerenciais indicam quais os comprometimentos e quais planos estratégicos para a implementação do WCM que organizações e pessoas, o time da alta gestão da operação empresarial, devem apresentar para definirem os caminhos a serem tomados para atingirem os objetivos propostos nos pilares técnicos, reduzindo as perdas. Ou seja, pela Figura 2, por exemplo, no que se diz a respeito do pilar técnico da segurança, é necessário que haja um compromisso da direção, como um pilar gerencial, para que se tenha uma empresa, ou organização segura e, assim, sucessivamente pelos outros pilares.

Figura 2 – Estrutura dos pilares técnicos e gerenciais do WCM



Fonte: Paulo Yida (2017).

Os pilares técnicos operam seguindo passos ou STEP's que guiam o caminho que deve-se seguir para aplicação e melhoria sistêmica do que se deseja. As ferramentas aplicadas durante os STEP's devem ser utilizadas seguindo corretamente o método, sem saltar etapas, com rigor e velocidade. Cada STEP possui ferramentas designadas para cada situação, conforme a abordagem que pode variar entre reativa, preventiva e proativa conforme Felice, Petrillo e Monfreda (2013). A seguir apresenta-se a Figura 3, ilustrando um exemplo do pilar AM (*Autonomous Maintenance* ou Manutenção Autônoma) do primeiro ao último passo.



Fonte: Adaptado de Material de Estudo AM Marelli (2018)

Felice, Petrillo e Monfreda ainda afirmam que na abordagem **reativa** o foco está na identificação das causas e implementação das medidas após o ocorrido. Como por exemplo a quebra de uma máquina, deve-se tomar uma ação para reestabelecer as condições de serviço do equipamento o mais rápido possível, geralmente utilizando de ferramentas básicas.

Na fase **preventiva**, são usados os históricos de ocorrência dos problemas para que sirvam de referência para que sejam evitados futuramente (FELICE, PETRILLO E MONFREDA, 2013). Por exemplo, quando ocorre a quebra de uma máquina por falta de lubrificação, é criado um calendário ou rotina de lubrificação para que a máquina não volte a ficar em condição ruim no que se trata de lubrificação, a ponto de quebrar e parar seu funcionamento. As ferramentas utilizadas são consideradas intermediárias, e visam prevenir os problemas já identificados ou previstos anteriormente.

Uma análise teórica é relatada, então, de modo que contramedidas eficazes sejam implementadas para serem evitados eventos mais severos. Esta análise em conjunto com o uso de ferramentas que as permitam e auxiliem na tomada de decisão pode ser definida como a abordagem **proativa** segundo Felice, Petrillo e Monfreda (2013).

O WCM possui um sistema de avaliação que tem por finalidade acompanhar o desenvolvimento da metodologia na organização, assim como a aplicação correta das ferramentas e métodos. Cada um dos pilares recebe uma pontuação com base nos níveis de detalhe e expansão das atividades, como indica Seniuk (2020) e, desta forma, tornam-se os resultados de cada pilar mais mensuráveis. Realizam-se auditorias externas para verificar o nível de detalhamento e o nível de expansão das atividades de cada pilar. Por fim, um valor entre 0 e 5 para cada pilar, tanto técnico quanto gerencial. Avalia-se a organização como um todo, somando os pontos dos 10 pilares gerenciais e técnicos. A pontuação da organização se dá da seguinte forma:

- a) Maior ou Igual a 50 pontos – Medalha de Bronze
- b) Maior ou Igual a 60 pontos – Medalha de Prata
- c) Maior ou Igual a 70 pontos – Medalha de Ouro
- d) Maior ou Igual a 85 pontos – World Class

Deste modo, a organização consegue avaliar suas dificuldades, áreas onde deve-se reforçar o apoio e valorizar o trabalho das áreas que estão dentro do plano de evolução do WCM da companhia.

3.2.1 Pilar *Safety* – SF

Para Felice, Petrillo e Monfreda (2013), o pilar técnico de segurança (*Safety* – SF) objetiva eliminar configurações do meio que fornecem condições que em um futuro possam causar acidentes, ou quase acidentes, tornando o meio mais seguro e, conseqüentemente, buscando sempre a melhoria do ambiente de trabalho.

Para que o objetivo seja alcançado é necessário promover a cultura da segurança em todos os níveis da companhia, onde todos devem seguir as recomendações da empresa para que atingir o zero acidente e zero ato inseguro. Todos os membros da companhia devem ser progressivamente envolvidos em um processo de sensibilização crescente através de um percurso entre os aspectos normativos, econômicos e éticos. Exige (2018) ainda determina a existência de aspectos que deverão ser respeitados quando há a implementação deste pilar.

Aspectos normativos – Cada país possui normas que determinam como se comportar perante à segurança no ambiente de trabalho. Tais normas preveem conseqüências tanto às empresas quanto ao colaborador quando do seu descumprimento. Por isso, o conhecimento destas normas deve nortear os comportamentos das empresas que devem primar aplicá-las e seguirem-nas de forma rigorosa

Aspectos econômicos – Acidentes de trabalho geram custos diretos e indiretos que podem, por ventura, ser superiores aos desembolsados para a eliminação dos riscos no ambiente de trabalho e uma educação correta sobre a prevenção dos mesmos.

Aspectos éticos – Toda pessoa ligada direta, ou indiretamente a uma empresa é responsável por garantir uma boa condição para um funcionamento saudável, seguro e garantir um bom ambiente de trabalho.

O objetivo do pilar SF é zerar os acidentes, quase acidentes e atos inseguros por meio de um procedimento sistêmico que visa a prevenção de acidentes através da análise, observação e eliminação de todas as causas que geraram ou poderiam gerar um acidente. Para isso é necessário o desenvolvimento da cultura de prevenção, o melhoramento contínuo da ergonomia do local de trabalho e o desenvolvimento de competências adequadas para eliminar os acidentes potenciais.

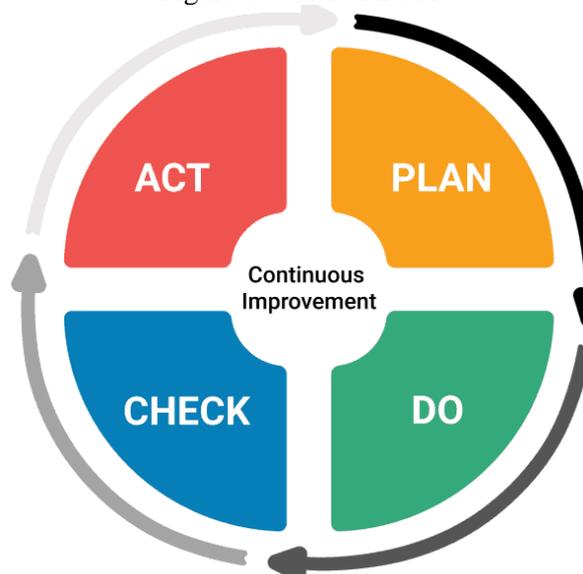
3.2.2 Pilar *Focused Improvement* - FI

Direcionado ao combate de grandes perdas resultantes do pilar CD (Desdobramento de Custos), que tem forte impacto no budget e no KPI (*Key Performance Indicator*) da companhia e de suas soluções espera-se fazer economias. Como perceptível pelo nome, este pilar é focado

em uma solução que seja de grandes benefícios e menores prazos, custos e perdas. Este pilar também fornece suporte para todos os outros pilares, segundo Felice, Petrillo e Monfreda (2013).

Para problemas de dificuldade crescente faz-se necessária a aplicação de técnicas, métodos específicos e instrumentos para que seja encontrada uma solução devido à complexidade das causas dos desperdícios e das perdas a serem removidas. Diante de um desvio em relação a um padrão ou problema, não se limita a especificar uma solução bloqueio (solução imediata para apenas bloquear a falha ou desvio de padrão), mas instaura-se um ciclo determinado a especificar as causas e a removê-las definitivamente para reestruturar o padrão ou para inovar através da adoção de um novo padrão. Esse ciclo se define como PDCA, conforme a Figura 4.

Figura 4 – Ciclo PDCA



Fonte: Blog Fluxo UFRJ (2020).

Pela Figura 4, a sigla do ciclo PDCA pode ser descrita como *Plan*, *Do*, *Check*, *Act*, definidas como:

- a) *Plan* (Planejar) – Entender o problema, identificar as causas, verificar as causas, identificar as soluções e coloca-las em ordem de prioridade;
- b) *Do* (Fazer) – Aplicar a solução;
- c) *Check* (Checar) – Controlar a eficácia da solução e monitorá-la;
- d) *Act* (Agir) – Padronizar a nova solução implementada e difundir a solução horizontalmente às situações semelhantes, ou seja, expandir a melhoria para situações parecidas e aplicáveis.

Com a aplicação do melhoramento focado, cria-se também uma bagagem de conhecimento em relação à aplicação dos métodos e dos próprios instrumentos. Todo o

conhecimento criado nas primeiras fases compreende também a aplicação dos pilares sistemáticos do WCM (Manutenção Autônoma, Manutenção Profissional, Controle de Qualidade) a ser difundido no desenvolvimento do percurso do WCM.

Através de áreas modelo, o pilar FI cuida também do desenvolvimento de conhecimento dos métodos de melhoramento sistêmico em relação aos pilares diretamente envolvidos (AM, PM, QC e SF), além dos outros pilares definidos de acordo com a área modelo adotada.

3.2.3 Pilar *Professional Maintenance* – PM

Neste pilar encontram-se atividades que aumentam o ciclo de vida das máquinas utilizando práticas capazes de realizar uma manutenção preventiva e corretiva que reduzem os danos e micro paradas das máquinas e dos equipamentos e, assim, obter economia. A Manutenção Profissional (*Professional Maintenance* – PM) faz parte do processo de melhoria contínua do sistema técnico do estabelecimento que é constituído das atividades desenvolvidas pelo pilar *Focused Improvement* (FI), daquelas de *Autonomous Maintenance* (AM) e das de gestão antecipada do desenvolvimento de novos aparelhos (ABRAMAN).

A manutenção pode vir a reparar uma falha súbita e nesse caso não planejada, e responde completamente aos erros da máquina, ou pode ser planejada. A manutenção a partir de falhas leva a máquina ou componente ao máximo nível de estresse, capaz de gerar um rompimento em sua área interna, e desta forma causar perdas por danos.

A manutenção quando é planejada, por sua vez, está inserida na fase da manutenção preventiva do pilar PM (*Professional Maintenance*). Esta fase ainda compreende a AM (*Autonomous Maintenance*), a manutenção periódica, a baseada na condição da máquina, e a corretiva. É nesta última que há o prolongamento da vida útil da máquina.

Existem algumas linhas de estratégias adotadas para melhor eficácia da manutenção, como por exemplo:

- a) Na presença de um tipo de organização onde os equipamentos não são essenciais e são, contudo, uma forte presença de mão de obra, como uma unidade operativa de montagem, a melhor combinação é a que prevê uma forte manutenção autônoma de base, limpeza, lubrificação, inspeção, manutenção às falhas e uma presença menor de manutenção periódica, preventiva e corretiva.
- b) Na presença de um tipo de organização onde os equipamentos são essenciais, como uma unidade operativa de pintura, a melhor combinação é constituída de uma manutenção autônoma de base, nenhuma manutenção às falhas, muita manutenção periódica, preventiva e corretiva.

Se são previstas somente as respostas às falhas, então os custos de manutenção serão baixos, entretanto o mesmo não se pode dizer das perdas. Porém, ao se adotar uma estratégia de manutenção preventiva, existe um aumento nos custos de manutenção, como, por exemplo, o uso de dispositivos e equipamentos que permitam a detecção de possíveis erros e a preparação dos operadores e dos servidores da manutenção.

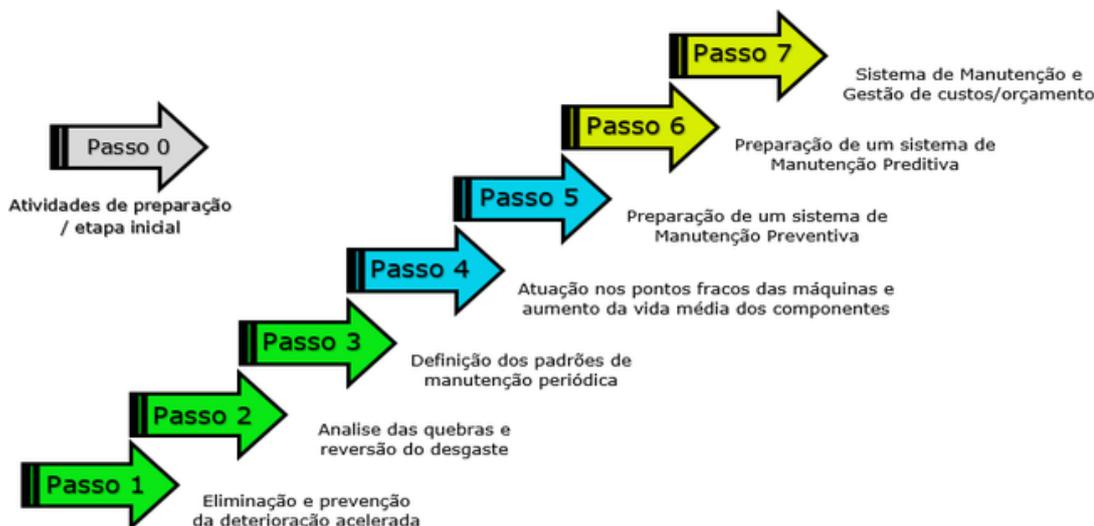
Em consequência, os custos de manutenção aumentam, outrora são reduzidos os custos de transformação, uma vez que se reduzem as perdas referentes às falhas e às micro paradas. A situação de equilíbrio entre os custos de manutenção e custos de transformação é aquela cuja combinação de tipos de manutenção se adequa melhor ao objetivo da área que deseja-se aplicá-la.

De modo geral, o sistema de *Professional Maintenance* (PM) se propõe a:

- a) Maximizar a confiabilidade das aparelhagens a custos econômicos;
- b) Minimizar as perdas referentes a problemas de segurança e de qualidade através da melhoria da confiabilidade;
- c) Reduzir as atividades de manutenção não planejadas e reconduzi-las somente às máquinas não prioritárias;
- d) Utilizar a combinação justa das diversas práticas de manutenção (Manutenção autônoma, Manutenção por falha/quebra, Manutenção periódica, Manutenção por condições de base) para estabelecer e manter a melhor condição dos equipamentos com os menores custos e a maior eficácia;
- e) Aumentar o peso percentual da manutenção preventiva e de melhoria;
- f) Desenvolver internamente as competências de manutenção, seja no nível dos operadores, nível técnico especializado do time da manutenção ou das engenharias;
- g) Promover um bom planejamento de manutenção;
- h) Difundir uma cultura determinada a obter taxa zero de falhas e de paradas.

Assim como os todos os pilares do WCM, o pilar PM também é constituído por 7 passos, que se seguidos e aplicados corretamente torna-se possível atingir um nível de excelência no que se trata de manutenção profissional, mostrados na Figura 5.

Figura 5 – Os 7 STEP's do pilar PM



Fonte: Blog Manutenção em Foco (2019).

Conforme ilustrado na Figura 5, os três primeiros STEP's estão na fase reativa, visto que buscam estabilizar o tempo médio entre as falhas, o MTBF (*Mean Time Between Failures*) por meio de cada um dos três STEP's e, ao fim destes deve-se zerar as falhas ocorridas nas máquinas. Já os STEP's 4 e 5 são os preventivos, onde são adotadas contramedidas nos pontos fracos do equipamento, prolongamento da vida média dos componentes e posteriormente a construção de um sistema de manutenção periódico. Por fim, com o pilar bem consolidado entram os STEP's 6 e 7, com a construção de um sistema de manutenção preditivo, a gestão dos custos de manutenção e uma possível avaliação do mesmo.

3.3 Gargalo, Balanceamento e Desbalanceamento

Para melhor entendimento do que se trata os conceitos de balanceamento, desbalanceamento e gargalo do ponto de vista do pilar FI, faz-se necessário entender basicamente o que é tempo ciclo e as premissas consideradas por ele.

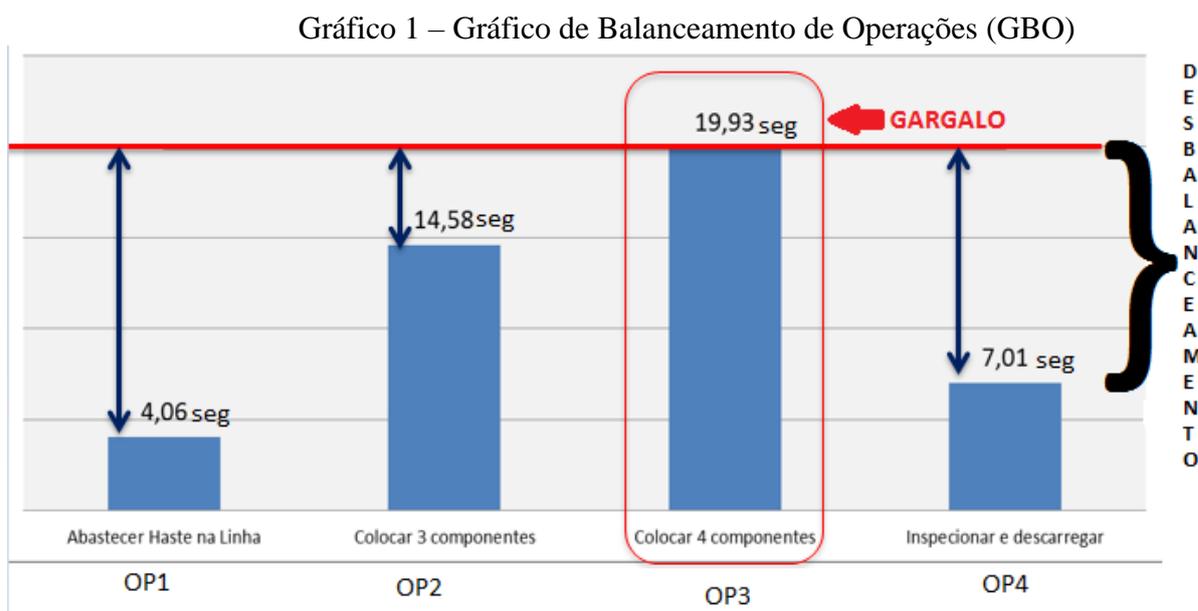
O tempo ciclo é a observação de tempo transcorrido entre o início ou o término da produção de duas peças sucessivas, obedecendo as seguintes premissas:

- a) Utilizando-se do método de trabalho correto;
- b) Utilizando os parâmetros corretos do equipamento;
- c) Respeitando-se as normas estabelecidas de segurança e qualidade;
- d) Aplicando-se os fatores de ergonomia de cada atividade.

O termo “gargalo” é comumente utilizado para identificar em uma linha de produção a operação com maior tempo ciclo, ou seja, a operação que leva mais tempo para ser realizada. A partir dos tempos ciclos de todas as operações realizadas em uma linha/célula de produção

pode-se analisar se existe desbalanceamento de grandeza suficiente para ser trabalhado e rebalanceado.

Desbalanceamento nada mais é que a diferença entre o tempo ciclo de uma operação e o tempo ciclo da operação gargalo da linha. O Gráfico 1 abaixo apresenta um exemplo que auxilia o entendimento.



Fonte: Do autor (2020)

Com base na análise do gráfico acima, constata-se que no exemplo o desbalanceamento da linha é igual a 12,92 segundos, sendo obtido a partir de:

$$T_D = T_G - T_{Op} \quad (1)$$

na qual de modo simples, tem-se o tempo de desbalanceamento T_D [s], o tempo de gargalo T_G [s] e o tempo da operação em análise T_{Op} [s].

O time de Tempos e Métodos que lidera o pilar FI buscam sempre o melhor balanceamento possível, visando melhoria da produtividade e eficiência das linhas de produção. O objetivo é levar esse delta entre a operação “gargalo” e as demais operações da linha a zero ou reduzi-lo o máximo possível. Ou seja, distribuir ordenadamente as atividades entre as operações de uma linha de produção, de forma a atingir o maior output com a melhor utilização dos recursos de mão de obra e equipamentos disponíveis.

3.4 Cortina de Luz de Segurança

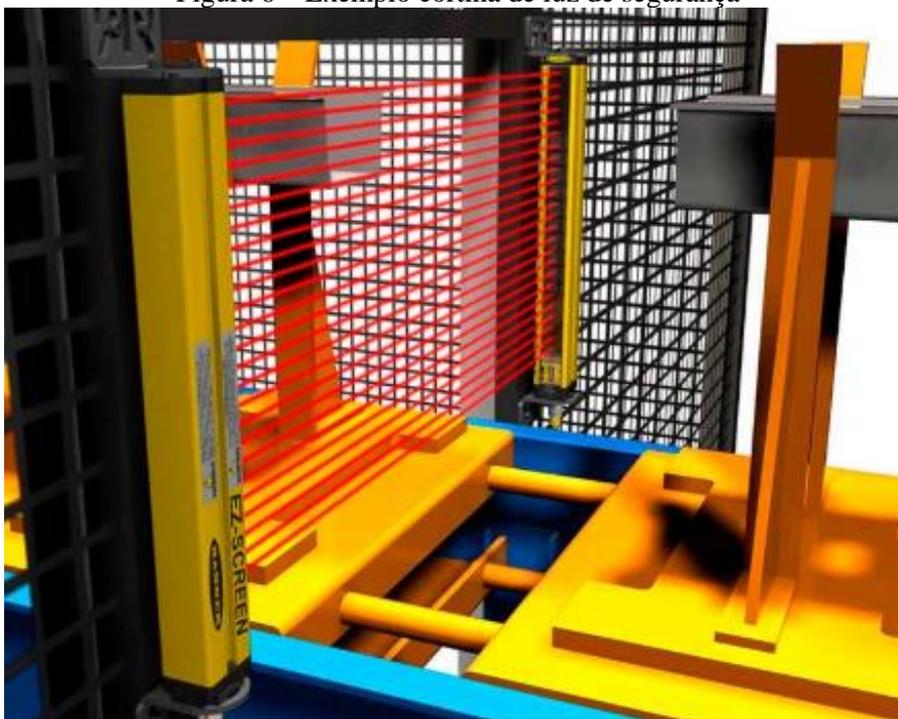
Toda e qualquer empresa prioriza a segurança dos seus colaboradores em qualquer tipo de operação, desde operações que não utilizam algum equipamento de forma direta até as que

são necessárias operar máquinas das mais diversas formas. A cortina de luz de segurança é um dos mais importantes dispositivos para garantir a segurança humana nas operações.

Uma cortina de luz, em termos gerais, é um dispositivo capaz de monitorar um ponto de perigo em uma máquina, como, por exemplo, um membro de uma pessoa. Quando este é detectado pelos feixes de luz, a cortina interrompe imediatamente o funcionamento da máquina, evitando acidentes. (Portfólio DECIBEL, 2017).

Ela funciona através da criação de uma barreira de feixes de luz infravermelhos com altura e comprimento compatíveis com as dimensões da máquina sob proteção. Uma vez interrompida a barreira, ela detecta, sinaliza uma “invasão” e aciona um relé de segurança, que interrompe imediatamente o circuito elétrico que comanda a operação da máquina, bloqueando o seu funcionamento, como na Figura 6.

Figura 6 – Exemplo cortina de luz de segurança



Fonte: Adaptado de Portfólio Sensor do Brasil (2020)

Esse tipo de sensor óptico pode ser dividido em duas partes, emissor e receptor. Eles trabalham continuamente, o emissor sendo responsável por emitir a luz e o receptor por captar. Conforme se observa na Figura 6, o dispositivo cria literalmente uma cortina de luz infravermelho com um tempo de resposta de até 100 milissegundos, garantindo assim a parada praticamente instantânea da máquina. Esse dispositivo é peça chave para certificar que a máquina é segura segundo a NR12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos (ABNT, 2016).

3.5 Indústria 4.0

Segundo Lu (2017), a primeira revolução (década de 1760) industrial deixou como legado avanços no setor da mecânica, que substituiu a realização manual dos processos. A segunda (década de 1870), ocorrida principalmente na Europa, Estados Unidos e Japão, avanços na elétrica, que se tornou um dos principais componentes da produção em massa e, conseqüentemente, de modelos de trabalho conhecidos nos dias atuais, como o Fordismo, desenvolvido por Henry Ford. Já a terceira revolução industrial (década de 1960), conforme Duarte (2017), contando com os conhecimentos adquiridos das outras e as inovações do tempo, deu os primeiros indícios de uma produção automatizada e, que com o passar dos anos, se aprimora aumentando a competição das empresas no mercado que acarreta num maior desenvolvimento econômico.

A quarta revolução industrial, a vista e vivida nos dias atuais, foi apelidada na Alemanha e passou a ser conhecida como Indústria 4.0. Ela realiza a junção dos mundos físico, digital e biológico, trazendo um impacto maior e mais profundo que as outras revoluções, de acordo com o Ministério da Indústria, Comércio e Serviços (GOVERNO FEDERAL, 2020).

Cavalcanti e Nogueira (2017) caracterizam a indústria 4.0 pela sua utilização dos processos compostos por máquinas que funcionam por meio da inteligência tecnológica, dentre elas, a robótica colaborativa. Ainda defendem que, além de uma revolução industrial, seja uma revolução digital que moderniza os processos das organizações. Para Herber (2014) esta nova revolução visa o aumento da comunicação entre as máquinas sem que haja a necessidade da interferência humana

Para Wang e Wang (2016) algumas tecnologias digitais de suma importância nos dias atuais nos processos de fabricação estão associadas à indústria 4.0, elas se apresentam, ainda, como fundamentais para a digitalização das empresas e responsáveis pelo desenvolvimento das atividades inseridas na organização. Dentre elas se encontram a *SmartFactory*, *Big Data*, *Internet of Things (IoT)* e *Cyber Physical Systems*.

Kang (2016) conceitua *SmartFactory*, ou como o próprio nome indica, fábrica inteligente, como uma fábrica que é equipada com sensores e dispositivos que permitem a coleta e o controle dos dados dos produtos e serviços. De acordo com Liu e Xun (2017), a junção dos processos tecnológicos contribui com a redução dos erros da produção, evitando gastos na correção dos mesmos. Desta forma, as fábricas são preparadas para se adaptarem às mudanças quando elas ocorrem, ou seja, em tempo real, reduzindo os tempos de parada, falhas e, principalmente, gerando economia.

Manyika (2011) define **Big Data** como o conjunto de dados que possui um tamanho maior que o suportável pela capacidade do banco de dados para análise, gerenciamento, captura, dentre outras ações, apesar de não determinar a grandeza dos dados, uma vez que, no decorrer dos anos tanto a capacidade do banco quanto o tamanho dos dados aumentem constantemente, podendo também variar por setor. Assim, é possível fazer o cruzamento dos dados e transformá-los em uma informação útil para o negócio e para o processo. Liu e Xun (2017) defendem que *Big Data* desempenha grande importância quando se trata de otimização da qualidade e melhoria da produtividade na indústria 4.0.

A Internet das Coisas, ou **Internet of Things** (IoT), é definida por Kang (2016) como uma rede de sensores, *chips*, *softwares* e eletricidade que transmitem a conectividade entre os ambientes físico e digital. Tal tecnologia possibilita desde a conexão de objetos cotidianos, tais como eletrodoméstico, carros à internet, até a detecção de objetos e mecanismos na produção e sua distribuição por meio da rede infra, fornecendo segurança e controle às empresas. A Internet das Coisas, além do conforto e da diminuição dos obstáculos diários, é capaz de otimizar tarefas e possibilitar, por *Machine Learning*, que a máquina “aprenda” com situações já ocorridas, de modo a facilitar a tomada de decisão pela mesma.

Os **Cyber Physical Systems** – CPS, para Wang e Wang (2016), são tecnologias que possibilitam gerenciar as características informatizadas e os ativos de produtos e serviços, por meio de uma infraestrutura de dados que possibilitam melhor controle e segurança quando há a necessidade de se tomar uma decisão. A transferência dos dados, seu monitoramento e controle são feitos pela internet e em tempo real. Sanders, Elangeswaran e Wulsberg (2016) acreditam que a aplicação dos conceitos de CPS aliados às tecnologias de *SmartFactory* objetivam à menor interferência humana nas máquinas e é o que representa a indústria 4.0.

A economia brasileira, em especial a indústria, enfrentou diversas adversidades recentemente. Nota-se pela baixa participação da indústria no PIB nacional, cerca de apenas 10%. Essa baixa participação pode ser vista como oportunidade de crescimento do setor industrial no país, atualmente o Brasil ocupa a 69ª colocação no Índice Global de Inovação, atrás de muitos países de menor expressão (GOVERNO FEDERAL, 2020). Dados do Governo Federal mostram que nos 10 anos entre 2006 e 2016 a indústria brasileira teve uma grave queda na produtividade, mais de 7% só neste período.

A indústria nacional, muitas vezes pelo receio de mudanças, pelas barreiras burocráticas e, até mesmo, pela falta de informação demonstra receio em aplicar novas tecnologias em seu meio de produção. De acordo com a Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2018), cerca de 48% do setor industrial pretendia acrescentar uso de alguma tecnologia digital no seu processo

produtivo, sendo, na maioria, empresas de grande porte e as que possuem maior intensidade tecnológica inserida nas suas habilidades. Apesar do baixo índice, houve um crescimento de 2016 a 2018, de 63% a 73%, respectivamente, das empresas que implementaram ao menos uma tecnologia seja no setor de produção, gestão ou logística.

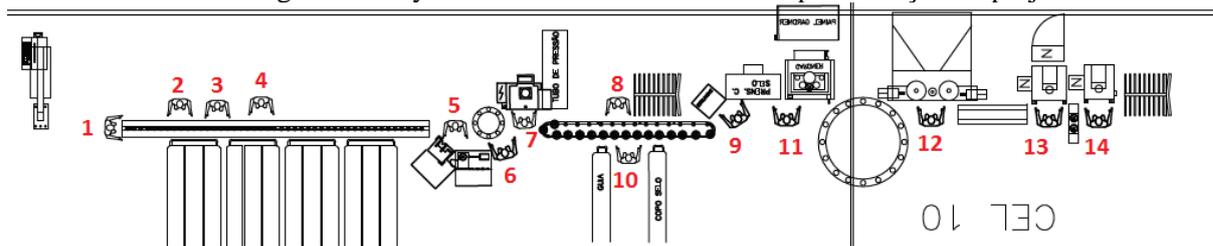
A transformação industrial hoje é algo essencial para melhorar os produtos produzidos nas indústrias brasileiras. Com a utilização dos recursos de forma mais eficiente, a indústria nacional tem tudo para apresentar produtos e serviços mais competitivos em âmbito nacional e mundial. A implementação de estruturas de gestão como *Lean Manufacturing* ou *World Class Manufacturing* podem orientar os processos e tomadas de decisões a partir da análise em tempo real de dados de produção, gerando dessa forma ações pontuais com retorno de melhoria de produtividade, qualidade ou segurança do produto ou serviço prestado.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Análise de Balanceamento

Para melhor entendimento e visualização da condição de posicionamento dos operadores na célula de montagem, na Figura 7 apresenta-se o layout da célula.

Figura 7 – Layout de toda a célula antes da implementação do projeto



Fonte: Layout Marelli(2019)

Nota-se que nesse layout ainda temos a presença de 14 pessoas compondo a linha de produção. Considere as posições numeradas partindo da esquerda para a direita. Elas serão apresentadas logo abaixo por meio da Tabela 1, onde também pode-se encontrar a descrição da operação.

Tabela 1 – Operações Célula de Montagem

Operações	Descrição
Op.01	Colocar haste na linha, bater 1º anel Cir-Clip
Op.02	Colocar batente, anel do pistão, pistão hidráulico, 2º Cir-Clip e virar haste
Op.03	Arruela suporte, mola estrela, válvula de admissão e pistão
Op.04	Disco de encosto, arruela, assento de mola e mola
Op.05	Porca, pré-torque, retirar garra e faquinha
Op.06	Torque
Op.07	Introduzir haste no tubo de pressão, prensar válvula e introduzir na ferragem
Op.08	Introduzir ferragem na linha
Op.09	Realizar estilingue e prensa do copo
Op.10	Introduzir guia, selo, copo e coxim
Op.11	Retirar ferragem do estilingue, mais prensa e testar carga
Op.12	Solda copo do selo
Op.13	Pressurizar inspeção de solda
Op.14	Poka yoke coxim e furação da fixação

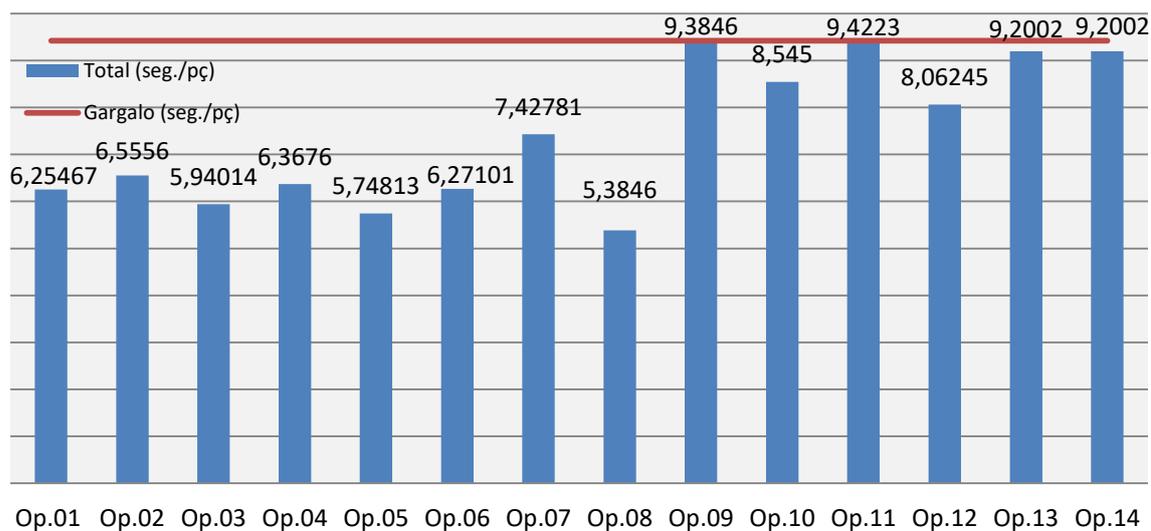
Fonte: Adaptado Pilar FI (2020)

Antes de dar início à análise do balanceamento, conforme informado anteriormente, a Tabela 1 apresenta as operações por ordem de posição na célula, seguido da descrição da

operação realizada pelo colaborador. Vale ressaltar que o foco desse projeto está nas operações 08 e 09.

O Gráfico 2 a seguir informa o balanceamento de uma linha de montagem, onde a linha vermelha indica o tempo gargalo da linha, ou seja, a operação que leva mais tempo para ser realizada.

Gráfico 2 – Gráfico de Balanceamento de Operações



Fonte: Pilar FI (2020)

Como pode-se observar, a partir da operação 1 à operação 8 nota-se uma diferença considerável dos tempos das operações em relação ao tempo gargalo da linha. Com base nesses dados e em conjunto com o time responsável por implementar melhorias na planta, realizou-se um *brainstorming* (“Chuva de ideias”) para analisar esses *gaps* encontrados de modo a enxergar oportunidades de melhorias significativas para as células de montagem.

Analisando a operação 08 em relação ao gargalo e com base na Equação 1, tem-se o desbalanceamento dado por:

$$T_D = T_G - T_{Op}$$

$$T_D = 9,42s - 5,38s$$

$$T_D = 4,04s$$

Esse dado mostra que o desbalanceamento nesse ponto é crítico, já que esse valor representa o equivalente a 42,89% do tempo gargalo. Dessa forma, surgiu a possibilidade de realizar a junção das operações 08 e 09, com a ideia de desenvolver uma máquina nova com capacidade de realizar essas operações de uma só vez.

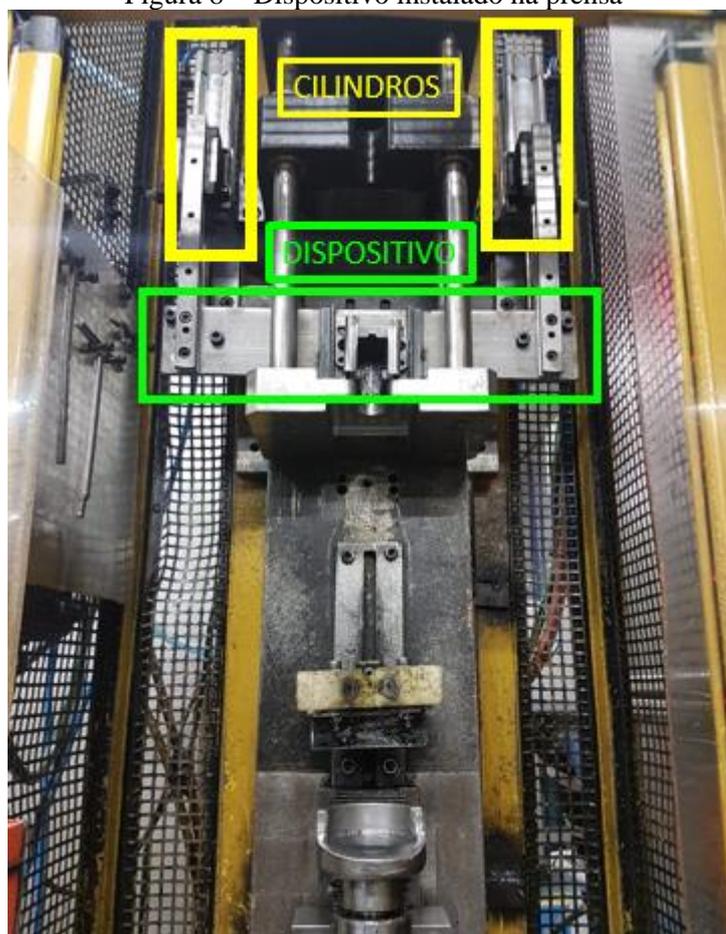
Conforme avaliado anteriormente, observou-se a oportunidade de unir duas operações, as operações 08 e 09, que são descritas por introduzir ferragens na linha e realizar estilingue e

prensa do copo. O desafio agora passou a ser o de criar um dispositivo que fizesse o papel da ação realizar estilingue e também a mudança de layout devido à mudança na forma de abastecer ferragens.

O time de melhorias desenvolveu um dispositivo que, utilizando dois cilindros pneumáticos e uma estrutura de aço razoavelmente simples, consegue desempenhar a ação descrita como realizar estilingue. Este dispositivo foi acoplado a uma prensa que realizará a ação da operação, de prensar o copo.

Com o apoio do pilar PM, foi possível acoplar o dispositivo desenvolvido pelo time de melhorias à prensa, de modo que trabalhassem juntos seguindo a lógica desenvolvida no CLP Micrologix 1200 da Allen-Bradley. Vale ressaltar que a máquina antes deste projeto operava sem CLP, apenas por relés. A seguir, a Figura 8 apresenta o dispositivo já instalado na prensa.

Figura 8 – Dispositivo instalado na prensa



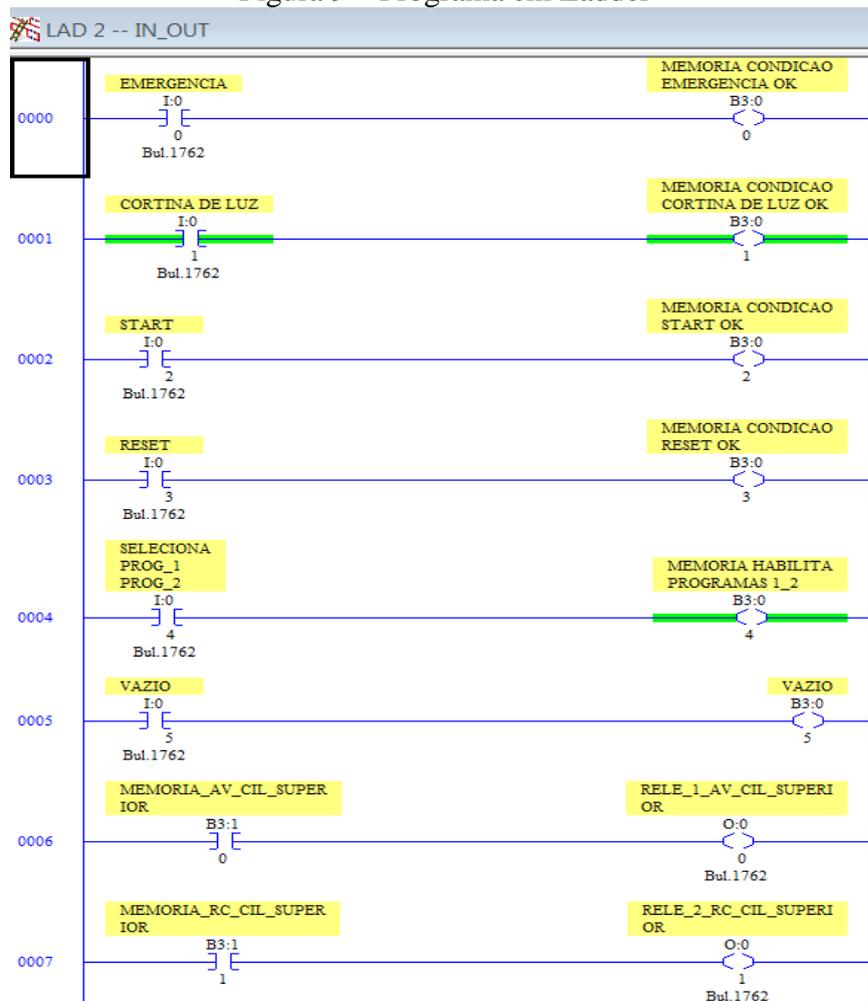
Fonte: Do autor (2020)

Pela Figura 8, nota-se a presença de dois cilindros pequenos nas laterais, cada um com sua haste presa ao dispositivo desenvolvido. O dispositivo foi confeccionado na ferramentaria interna da empresa, utilizando aço VND devido ao fácil acesso e aplicação do mesmo.

Importante ressaltar também a presença da cortina de luz de segurança nas laterais figura, ela garante segurança aos operadores do equipamento, já que em qualquer descuido e invasão da barreira a máquina para imediatamente. As hastes servem de sustentação para que ao acionar a máquina as hastes dos cilindros subam, “abrindo” o amortecedor, de maneira que em seguida, automaticamente, a máquina realize a prensagem do copo do amortecedor. Dessa forma, viabilizando a união das operações 08 e 09, visto que o novo equipamento agora é capaz de abrir o amortecedor, ou seja, “puxar a haste” e também é capaz de realizar a prensagem do copo logo em seguida, necessitando de apenas um acionamento.

A máquina antes das modificações operava apenas por relés, já era utilizada cortina de luz de segurança juntamente com relé de segurança, no entanto, como passou-se a utilizar um CLP fez-se necessário desenvolver um programa em diagrama ladder com a lógica necessária para a operação. Parte das entradas do programa em diagrama ladder desenvolvido para a máquina encontra-se ilustrado logo abaixo na Figura 9.

Figura 9 – Programa em Ladder



Fonte: Do autor (2020)

Além do controle realizado agora por CLP, foi instalado acionamento bi manual na máquina. Esse tipo de acionamento é realizado quando o operador simultaneamente toca levemente os “botões”, que na verdade não são dispositivos ópticos eletrônicos que dispensam a necessidade de pressão mecânica, ajudando dessa forma a minimização de ocorrências como LER (Lesão por Esforço Repetitivo) nos membros superiores dos operadores. A botoeira de emergência, obviamente continuou presente para possíveis emergências na operação. Com a utilização do CLP obteve-se um aprimoramento na redundância da segurança na programação, tornando o sistema mais robusto às possíveis falhas.

Na Figura 9 apresenta-se um trecho das entradas e saídas utilizadas no desenvolvimento dos programas. As condições são levadas em consideração, como por exemplo as de avanço e recuo dos cilindros, denominadas de “MEMORIA_AV_CIL_SUPER” e “MEMORIA_RC_CIL_SUPERIOR” respectivamente. Outras entradas também estão ilustradas, como “START”, que representa o acionamento da máquina por parte do operador por meio do comando bi manual, a “EMERGENCIA” que representa a condição da botoeira de segurança, se está acionada ou não.

O objetivo da imagem é ilustrar a lógica e ferramentas adotadas, com uma pequena parte do diagrama ladder desenvolvido. Devido à particularidades de algumas famílias de amortecedores foram criados dois programas para operação da máquina. Um programa executando a ação de puxar haste e em seguida executa a operação de prensar copo, e outro programa que primeiro prensa o copo e só depois puxa a haste. Associadas as condições tem-se os relés que exercem os trabalhos de acionamentos dos cilindros, retorno para condições iniciais, etc.

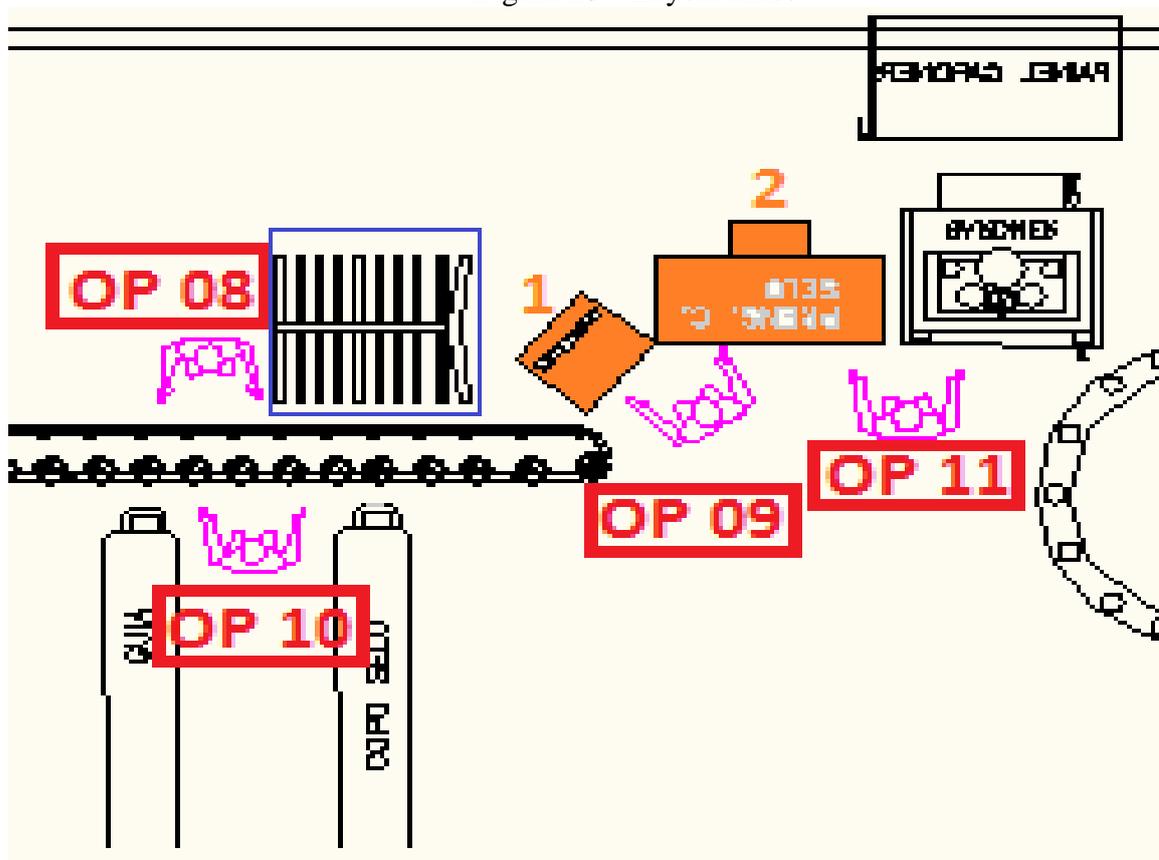
É válido frisar que todos os operadores da célula que por ventura operam a máquina foram treinados previamente para trabalhar com o novo maquinário. O projeto piloto foi desenvolvido e implementado em cerca de dois meses, com apoio da manutenção e muito empenho do time de melhorias da fábrica para executá-lo e validá-lo. Posteriormente à validação da segurança, qualidade e tempos e métodos foi realizada a expansão para as outras três células produtivas.

4.2 Layout e Abastecimento

Com a junção das duas operações algumas outras mudanças também tiveram de ser adotadas, como o abastecimento de ferragens (Parte Estrutural Externa do Amortecedor) e um novo layout para célula.

A Figura 10 indica como eram distribuídas as operações na célula. O abastecimento de ferragens era realizado pela operação 08, a partir do carrinho de ferragens demarcado com o quadrado azul na parte superior da imagem. Nota-se também duas máquinas marcadas pela cor laranja, a máquina número 1 é a responsável pelo estilingue (abertura do amortecedor puxando a haste do amortecedor verticalmente para cima) e a máquina 2 é a prensa copo, responsável por realizar a prensagem do copo.

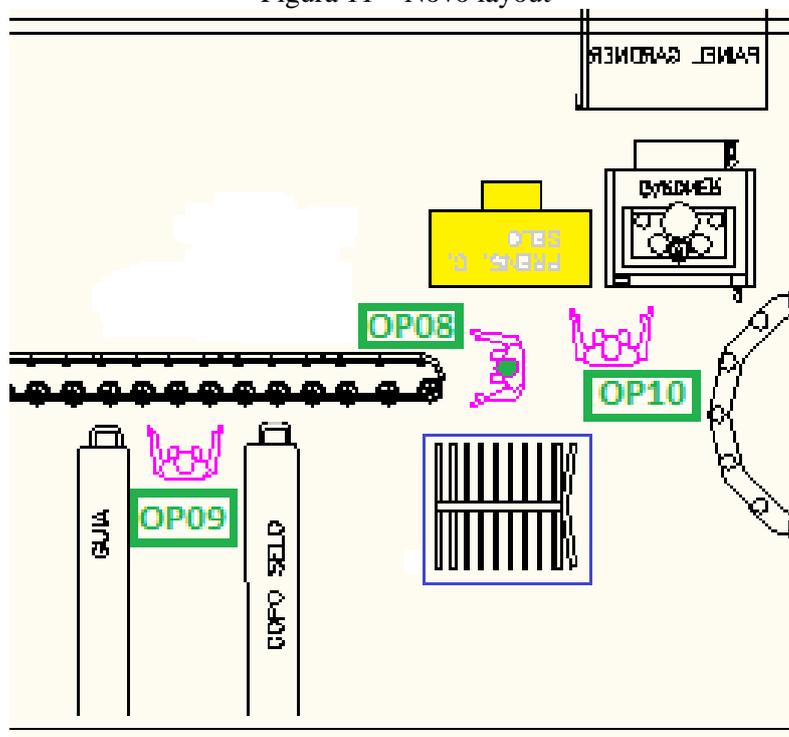
Figura 10 – Layout antes



Fonte: Adaptado de Layout Marelli (2020)

A seguir, na Figura 11, pode-se visualizar o layout após as mudanças realizadas na célula, tanto de fluxo de abastecimento quanto de posição de maquinário. Como informado anteriormente, com a mudança de layout houve mudança no abastecimento de ferragens para a linha, que passou a ser função da operação 08, que além dessa ação o operador deve retirar uma peça montada na linha, posicioná-la na nova máquina (em amarelo) e acioná-la pelo comando bi manual. A nova máquina realiza as duas operações e a peça fica disponível para a próxima operação.

Figura 11 – Novo layout



Fonte: Adaptado de Layout Marelli (2020)

Pode-se notar que com as melhorias de máquina, abastecimento e layout obteve-se a eficiência de um operador, a célula que antes operava com 14 operadores, passa a partir de então a operar com 13, acarretando no aumento da produtividade da célula. Já que o número de operadores está diretamente envolvido no cálculo de produtividade, esse cálculo e os ganhos do projeto serão discutidos detalhadamente nos resultados e discussões do presente trabalho.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse tópico do trabalho tem o objetivo de avaliar os resultados obtidos a partir da implementação do projeto. Os valores monetários utilizados para avaliar estão de acordo com dados utilizados pela companhia.

5.1 Segurança e Manutenção

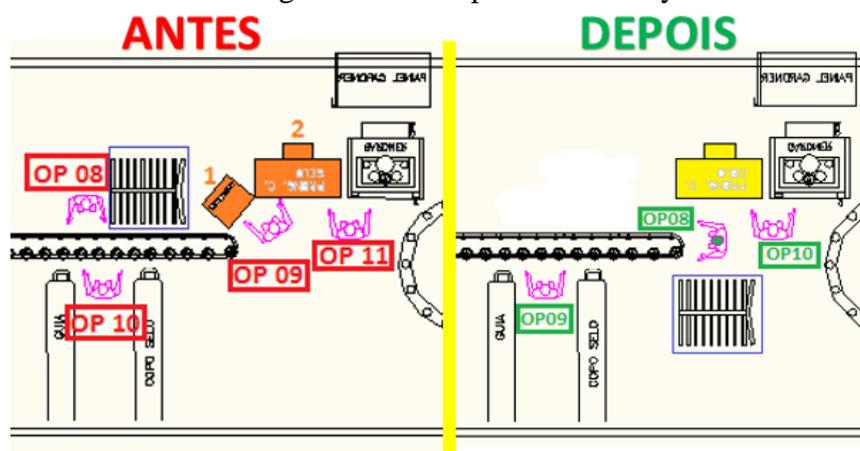
Conforme apresentado anteriormente, a implementação desse projeto gerou bons resultados para a companhia, tanto qualitativos quanto quantitativos. Ao trocar a utilização de lógica de relés por CLP, obteve-se ganho em segurança devido à maior redundância da programação utilizada no CLP, o sistema de segurança tornou-se mais robusto e melhor preparado para possíveis falhas. Outro ponto positivo em utilizar o CLP é que o tempo de detecção da falha por parte da manutenção caiu cerca 50%, segundo estimativa fornecida pelo pilar PM, já que o manutentor consegue detectar as falhas de parte elétrica ou eletrônica acompanhando o diagrama ladder desenvolvido para a operação, conectando ao CLP via direcionando rapidamente as atenções para o problema.

5.2 Eficiência

Quando o assunto é eficiência, é necessário ter em mente que para obtê-la é preciso aperfeiçoar o processo de alguma forma, reduzindo custos com matéria prima, mão de obra por exemplo, ou simplesmente utilizando os mesmos recursos de forma mais inteligente e eficaz. Transformando a mesma quantidade de entradas, num valor maior de saídas do seu processo. Ou seja, com os mesmos recursos ou até menos, proporcionar um valor maior de *outputs*.

A Figura 12 abaixo apresenta-se os layouts antes e depois da implementação do projeto. Percebe-se que no layout depois do projeto implementado, o antigo posto de trabalho da operação 08 deixa de existir, com isso tem-se uma eficiência de mão de obra. O novo balanceamento das atividades transferiu a atividade da operação 08 para a operação 09, já que não é necessário acionar duas máquinas, graças ao dispositivo desenvolvido e instalado na prensa do copo.

Figura 12 – Comparativo dos layouts



Fonte: Adaptado de Layout Marelli (2020)

Inicialmente cada célula de montagem necessitava de 14 pessoas para realizar suas operações, no entanto, após a implementação do projeto esse número caiu para 13 pessoas, gerando a eficiência de uma pessoa. A planta de Lavras atualmente trabalha em dois turnos e possui 4 células de montagem estrutural, área em que o projeto foi implementado. Considerando a eficiência de uma pessoa por célula por turno, tem-se um total de 8 eficiências na área de montagem estrutural.

A empresa utiliza por convenção um valor fixo para cálculo de eficiência quando se trata de redução de pessoal, para cada eficiência considera-se um total de R\$59.701,00 por ano. Esse valor representa em média o gasto da empresa com um operador por ano, incluindo todas as despesas, tais como transporte, água, luz, impostos, alimentação, etc. O projeto piloto foi realizado em uma célula como apresentado no presente trabalho, e imediatamente expandido para todas as células.

Os custos do projeto tiveram que ser estimados pelo time do projeto, já que praticamente todos os serviços foram feitos internamente, exceto o de mudança de posição da máquina, que fez-se necessário contratar uma empresa para realizar sua movimentação devido ao elevado peso do equipamento. Contabilizando os custos com material, mão de obra e componentes eletrônicos obteve-se o valor de R\$55.000,00. Vale ressaltar que o custo mais relevante foi o de movimentação de máquina realizado por uma empresa terceirizada, custando em torno de R\$30.000,00.

Com um total de oito eficiências tem-se um ganho de R\$477.608,00 anual, e considerando os custos de implementação por célula em R\$55.000,00, obtém-se um *saving* financeiro de R\$257.608,00/ano para a empresa com a redução de mão de obra obtida no projeto.

Em suma, pode-se analisar os gastos e o retorno de forma simplificada por meio da Tabela 2.

Tabela 2 – Análise de custos e ganhos

Custos e Ganhos	Valor
Investimento	R\$ 55.000,00
Gastos com empresa terceirizada	R\$ 30.000,00
Gastos internos	R\$ 25.000,00
Ganho anual	R\$ 257.608,00

Fonte: Do autor (2020)

5.3 Produtividade

A produtividade de uma célula de produção está ligada de forma inversamente proporcional ao número de operadores que compõem as atividades dessa célula. Ou seja, quanto menor o número de operadores na célula, maior será a produtividade. É claro, desde que o tempo ciclo da célula continue o mesmo, garantindo que a saída em quantidade de peças permaneça a mesma após a redução de pessoal.

Considera-se o cálculo da produtividade dado por:

$$Produtividade = \frac{Tempo\ ciclo}{Número\ de\ operadores} \quad (2)$$

na qual tem-se o tempo ciclo $[\frac{peças}{hora}]$, e a produtividade $[\frac{peças}{op\ hora}]$.

Com o tempo ciclo de 398 $[\frac{peças}{hora}]$ e 14 operadores tinha-se anteriormente a produtividade de 28,42 $[\frac{peças}{op\ hora}]$. Com a redução de um operador e o mesmo tempo ciclo de antes, tem-se a produtividade após implementação do projeto de 30,61 $[\frac{peças}{op\ hora}]$, ou seja, crescimento de 7,70% em relação à produtividade anterior ao projeto.

A Tabela 3 a seguir ilustra as grandezas envolvidas antes e depois, e também a diferença após o projeto implementado.

Tabela 3 – Comparativo de produtividade

Comparativo	Antes	Depois	Diferença
Tempo ciclo	398	398	0
Número de funcionários	14	13	1
Produtividade	28,42	30,61	2,19

Fonte: Do autor (2020)

6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a implementação de um projeto de redução de desbalanceamento de linha de produção de peças automotivas. Por meio da aplicação de ferramentas do WCM e de melhoria contínua de processos, que associadas à automação tornou-se possível a melhoria de produtividade e eficiência de células de montagem da indústria de suspensão em que o projeto foi concretizado. O resultado do projeto foi bastante satisfatório, tendo em vista os ganhos obtidos em produtividade e eficiência, além do ganho financeiro com a redução de mão de obra obtida. Como o projeto piloto foi validado rapidamente, a expansão dessa inovação para as outras linhas de montagem foi de suma importância para aumentar os ganhos obtidos.

Desse modo, este projeto mostrou que existe um potencial muito grande de expansão da automação no contexto industrial. Tratando desde problemas de qualidade, produtividade e organização, até problemas técnicos como a defasagem de painéis de relés ainda bastante utilizados.

6.1 Perspectivas Futuras

Atrelado ao projeto apresentado no presente trabalho, houveram questionamentos de outras áreas da planta sobre a questão de associação de atividades, visando melhorar eficiência e reduzir custos com mão de obra. Outra questão levantada durante o decorrer do projeto foi a questão logística que teve de ser repensada, o abastecimento de ferragens passou a ser realizado pelo mesmo corredor em duas células, a organização de abastecimento está passando por mudanças também e possivelmente novos projetos voltados para o setor logístico terão de ser implementados para acompanhar a evolução feita nas células de montagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NR12**:Segurança do Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Rio de Janeiro, 2016.

CAVALCANTI, L. L.; NOGUEIRA, M.S. **Futurismo, Inovação e Logística 4.0**: desafios e oportunidades. VII /congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 2017.

DECIBEL. **Cortina de luz de segurança**. Disponível em <<http://www.decibel.com.br/seguranca-eletronica/cortina-luz-seguranca.php>> Acesso em 24 jul. 2020.

DUARTE, A.Y.S. **Gerenciamento da demanda em ti**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

EXIGE. **WCM – Safety (Segurança)**, 2018. Disponível em <<https://www.exige.com.br/post/wcm-safety-seguran%C3%A7a-saf>> Acesso em 23 jul. 2020.

FELICE, F.; PETRILLO, A.; MONFREDA, S. **Improving Operations Performance with World Class Manufacturing Technique**: A Case in Automotive Industry. InTech - Open Science Open Minds, 2013.

GOVERNO FEDERAL, Ministério da Indústria, Comércio e Serviços. **Indústria 4.0**. Disponível em <<http://www.industria40.gov.br/>> Acesso em 22 jul. 2020.

HEBER, A. **Business Insider**. São Paulo, 2015.

KANG, H. S. **Smart manufacturing**: Past research, present findings, and future directions. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green technology, 2016

KETTER, S. **World Class Manufacturing**: Métodos e instrumentos para o Fiat Group Automobiles Production System. Fiat Group, 2006.

LEAN INSTITUTE BRASIL. **Lean Thinking (Mentalidade Enxuta)**. 2013. Disponível em: <http://www.lean.org.br/o_que_e.aspx>. Acesso em 15 jul. 2020.

LIU, Y.; XU, X. **Industry 4.0 and cloud manufacturing**: A comparative analysis. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2017.

LU, Y. **Industry 4.0**: a survey on technologies, applications and open research issues. Journal of Industrial Information Integration, 2017.

MANYIKA, J. **Big Data**: The next frontier for innovation, competition, and productivity, 2011.

MARTINS CONSULTORIA. **WCM – World Class Manufacturing (Produção de Classe Mundial)**. 2011. Disponível em: <<http://leanwcm.com.br/wcm.html>>. Acesso em: 20 jul. 2020.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: Além da Produção em Larga Escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

SANDERS, A.; ELANGESWARAN, C.; WULFSBERG, J. **Industry 4.0 implies lean manufacturing**: research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 2016.

SCHONBERGER, R. J. **World Class Manufacturing: The lessons of simplicity applied**. Nova York: The Free Press, 1986.

SENIUK, A. C. **WCM – Manual de Ferramentas**. Disponível em <<https://pt.slideshare.net/AntonioCarlosSeniuk/wcm-manual-de-ferramentas-cnh-contagem>> Acesso em 15 jul. 2020.

WANG, L.; WANG, G. **Big Data in cyber-physical systems, digital manufacturing and Industry 4.0**. *International Journal of Engineering and Manufacturing (IJEM)*, 2016.

WOMACK, J. P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. **A máquina que mudou o mundo: baseado no estudo do Massachusetts Institute of Technology sobre o futuro do automóvel**. Rio de Janeiro, 2004.

YAMASHINA, H. **Challenge to world-class manufacturing**. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v. 17, n. 2, 2000.