



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE AUTOMAÇÃO E SISTEMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Letícia Amarante dos Santos

**Proposta de Melhoria de produtividade através da redução do tempo de ciclo da
linha de montagem final - processo produtivo Bosch Rexroth**

Florianópolis
2022

Letícia Amarante dos Santos

Proposta de Melhoria de produtividade através da redução do tempo de ciclo da linha de montagem final - processo produtivo Bosch Rexroth

Relatório final da disciplina DAS5511 (Projeto de Fim de Curso) como Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Santa Catarina em Florianópolis.

Orientador: Prof. João Carlos Espíndola Ferreira, Ph. D

Supervisor: Ivair Klotz, Eng.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra

A ficha de identificação é elaborada pelo próprio autor.

Orientações em:

<http://portalbu.ufsc.br/ficha>

Letícia Amarante dos Santos

Proposta de Melhoria de produtividade através da redução do tempo de ciclo da linha de montagem final - processo produtivo Bosch Rexroth

Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina DAS5511 (Projeto de Fim de Curso) e aprovada em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

Florianópolis, 24 de Março de 2022.

Prof. Hector Bessa, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. João Carlos Espíndola Ferreira, Dr.
Orientador
UFSC/CTC/EMC

Ivair Klotz, Eng.
Supervisor
Bosch Rexroth Ltda

Prof. Ricardo Rabelo, Dr.
Avaliador
Instituição UFSC

Prof. Eduardo Camponogara, Dr.
Presidente da Banca
UFSC/CTC/DAS

Este trabalho é dedicado à minha amada família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

Aos meus pais e irmãs, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei a este trabalho.

Aos orientadores, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram o meu aprendizado.

A todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizado.

À instituição de ensino UFSC, essencial no meu processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso.

À empresa Bosch Rexroth, pela disponibilização de estatísticas que foram de grande utilidade para a elaboração deste trabalho científico.

*“Ninguém deve se contentar
com o que foi alcançado,
mas ter sempre o objetivo
de fazer melhor.”
(BOSCH, 1932)*

RESUMO

Em 1886 Robert Bosch fundava a Oficina Mecânica de Precisão e Engenharia Elétrica, onde anos mais tarde em decorrência de uma sucessão de eventos, permitiu que a empresa passasse por um desenvolvimento na qual alcançaria operação mundial. Seu diferencial para tal expansão consistiu em virtude de seu caráter inovador e comprometimento social. A automação industrial surgiu como alternativa para consolidar processos de maneira eficaz. Dessa forma, a partir de cálculos de ações corretivas, é possível analisar a medida mais apropriada para cada linha de produção. Nesse passo, as simulações surgem como condutas que auxiliam na apresentação de projetos de sistema de automação. Diante da necessidade de atender a demanda crescente no mercado mundial, visando redução de custos e otimização de tempo, o objetivo geral desse projeto foi melhorar a produtividade da linha de montagem final da Válvula A10, aumentando sua capacidade produtiva. Portanto, foi desenvolvido um projeto de melhoria para o setor de montagens dessas válvulas, onde utilizou-se como metodologias ativas o trabalho padronizado, lean six sigma e manufatura enxuta. O software Arena foi utilizado para que fosse possível realizar as análises do setor bem como suas respectivas melhorias. Posteriormente, os resultados foram tratados e utilizados no processo de simulação no qual permitiu avaliar a eficiência do projeto e possível implantação.

Palavras-chave: ARENA, Manufatura Enxuta, Lean Six Sigma, Trabalho Padronizado

ABSTRACT

In 1886 Robert Bosch founded the Workshop of Precision Mechanics and Electrical Engineering. Where years later as a result of a succession of events, allowed the company to go through a development in which it would reach worldwide operation. The differential for such expansion consisted in virtue of an innovative character and social commitment. Industrial automation emerged as an alternative to consolidate processes effectively. Therefore, from corrective action calculations, it is possible to analyze the most appropriate procedure for each production line. Given the need to meet the growing demand in the world market, aiming to reduce costs and optimize time, the overall objective of this project was to improve the productivity of the final assembly line of the A10 Valve, increasing its productive capacity. Therefore, it was developed an improvement project for the Bosch assembly sector of these valves, where it was used as active methodologies the standardized work, lean six sigma and lean manufacturing. Later, the results were treated and used in the simulation process in which allowed to evaluate the efficiency of the project and possible implementation.

Keywords: ARENA, Lean Manufacturing, Lean Six Sigma, Standardized Work.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Planta Bosch Rexroth em Pomerode.	23
Figura 2 – Blocos Mobil e suas variações.	24
Figura 3 – Bombas de Pistões Axiais e suas variações.	24
Figura 4 – Bombas de Engrenagens e suas variações.	25
Figura 5 – Blocos Compactos e suas variações.	25
Figura 6 – Unidades Hidráulicas e suas variações.	26
Figura 7 – Tecnologia Linear e suas variações.	27
Figura 8 – Organização interna Bosch Rexroth.	28
Figura 9 – Lean Six Sigma.	39
Figura 10 – Layout atual da área de montagem final da válvula A-10.	44
Figura 11 – Processo atual de montagem das Válvulas A-10.	45
Figura 12 – Teste de Estanqueidade e Teste Final da Válvula A-10.	45
Figura 13 – Bloco <i>Create</i> utilizado na simulação.	49
Figura 14 – Parâmetros do bloco <i>Create</i>	50
Figura 15 – Tradução da montagem e testes da válvula no software ARENA. . .	50
Figura 16 – Ação lógica para os blocos Process do modelo - Recurso Operador 1.	51
Figura 17 – Ação lógica para os blocos Process do modelo - Recurso Operador 2.	52
Figura 18 – Bloco <i>Dispose</i> no ARENA.	53
Figura 19 – Sistema completo de montagem final no ambiente de simulação ARENA.	53
Figura 20 – Volume Produzido em 2021	54
Figura 21 – Quantidade diária de válvulas produzidas na simulação	55
Figura 22 – Sensor pick to light.	56
Figura 23 – Proposta das caixas de componentes com Sensores pick to light. .	57
Figura 24 – Gráfico de ocupação Operadores 1 e 2.	58
Figura 25 – Novo layout proposto.	58
Figura 26 – Modelo proposto ARENA.	59
Figura 27 – Gráfico de ocupação dos Operadores 1 e 2 com a melhoria proposta.	61
Figura 28 – Análise de custo benefício.	62
Figura 29 – Tempos de operação célula de montagem final.	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Documentos utilizados para estruturação de processos.	35
Quadro 2 – Metodologia para Construção do Modelo de Simulação.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Média ponderada do tempo de produção dos Operadores 1 e 2. . .	48
Tabela 2 – Tempo de ciclo da célula em segundos.	60
Tabela 3 – Orçamento para implantação do projeto.	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DTP	Diagrama de Trabalho Padronizado
FCP	Folha de Capacidade de Produção
FIFO	First in First Out
FEP	Folha de Estudo de Processo
GBO	Gráfico de Balanceamento do Operador
MFP	Mecanismo da Função de Produção
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MTM	Métodos de Medição
OEE	Overall Equipment Effectiveness
STP	Sistema Toyota de Produção
TCTP	Tabela de Combinação de Trabalho Padronizado
TWI	Training Within Industry

LISTA DE SÍMBOLOS

μ	Média
σ	Desvio padrão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL E SIMULAÇÕES	16
1.2	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA	18
1.3	OBJETIVOS	18
1.4	CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO	19
1.5	METODOLOGIA	19
1.6	ESTRUTURA DO DOCUMENTO	19
2	LOCAL DE REALIZAÇÃO DO PROJETO	21
2.1	APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	21
2.1.1	Missão e Valores	22
2.1.2	Produtos e Dados da Planta Bosch Rexroth Pomerode	22
2.1.3	Organização Interna	27
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
3.1	PRODUTIVIDADE	29
3.2	MANUFATURA ENXUTA	30
3.3	MENSURAÇÃO DE MÉTODOS E TEMPOS	33
3.4	TRABALHO PRADRONIZADO	34
3.5	TAKT TIME	36
3.6	LEAN SIX SIGMA	38
3.7	SIMULAÇÃO	40
3.8	FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO - ARENA	42
4	ESTUDO DO PROBLEMA	44
4.1	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	44
4.2	MATERIAIS E MÉTODOS	46
4.2.1	Metodologias Aplicadas	46
4.3	CONSTRUÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO	47
4.3.1	Formulação do Modelo Conceitual	48
4.3.2	Coleta de Macro informações e Dados	48
4.3.3	Tradução do Modelo	48
4.3.3.1	Chegada das válvulas no Posto 1 de Montagem Final	49
4.3.3.2	Montagem da Válvula no Posto 1 e Testes nos Postos 2 e 3	50
4.3.3.3	Fim do processo de montagem final da válvula	52
4.3.3.4	Sistema completo de montagem final	53
4.3.4	Verificação e validação do Modelo	53
4.3.4.1	OEE da linha	54
4.3.5	Projeto Experimental Final	55
4.3.5.1	Sensores <i>Pick to Light</i>	56

4.3.6	Experimentação	59
5	APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS - ENSAIO DE MELHORIAS .	60
5.1	INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS .	60
5.1.1	Redução do tempo de ciclo da célula	60
5.1.2	Redução do tempo de ociosidade do Operador 2	60
5.1.3	Orçamento do Projeto	61
5.1.4	Análise de custo benefício	61
5.1.4.1	Retorno de investimento	62
5.2	PROPOSIÇÃO E COMPARAÇÃO DA MAIS ADEQUADA ALTERNATIVA	62
6	CONCLUSÕES	64
	REFERÊNCIAS	66
	APÊNDICE A – TEMPOS CRONOMETRADOS DE OPERAÇÃO .	72

1 INTRODUÇÃO

Robert Bosch fundou em 1886 a Oficina Mecânica de Precisão e Engenharia Elétrica em Stuttgart. Desde sua fundação a Bosch passou por diversos processos e eventos, que permitiram seu desenvolvimento até que alcançasse operação a nível mundial. Inicialmente a organização passou a ser descrita como inovadora, em decorrência do seu comprometimento social. Todavia, grandes eventos passaram a interromper suas atividades no período que abarca a Primeira Guerra Mundial, exigindo que a Bosch deixasse seus impulsos inovadores de mercado de lado para de fato se salvar dos efeitos da guerra (BOSCH. . . , 2014).

De acordo com sua cronologia, a Bosch ganhou visibilidade a partir de um anúncio de sistema de ignição magnética nos jornais americanos, que movimentou 1 milhão de dólares em pedidos em 1906 e em um ano dobrou as vendas desse produto. Com sua atividade nos Estados Unidos, decorrente da sua estabilidade, em 1912 a Bosch passou a fabricar sistemas de ignição em sua própria fábrica em Springfield, Massachusetts (BOSCH. . . , 2014).

Diante disso era evidente que a concorrência buscava alcançar a qualidade oferecida pela Bosch ao mesmo passo que fosse possível fabricar em menor tempo, de maneira otimizada, em questão de custos. Posteriormente, em 1925, a Bosch passou a introduzir linhas de montagens de maneira gradual. Em média, o período para realizar a produção de um sistema completo de ignição era de 50 dias. Por meio dessa estratégia, esse período passou a ser reduzido para cinco dias (BOSCH. . . , 2014).

1.1 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL E SIMULAÇÕES

Para (MAITELLI, 2003), a automação industrial é uma vertente ampla que possui características multidisciplinares, que pode abranger diversas ciências em função de seu desenvolvimento e aplicabilidade. Dessa forma, pode ser definida como um conjunto de técnicas que permitem a consolidação de sistemas ativos que permitem a atuação de maneira eficaz da informação, sendo utilizada por aqueles que operam no setor. Assim, esse sistema é constituído a partir do cálculo da ação corretiva mais apropriada para dada linha de produção. As simulações buscam apresentar a ação dos sistemas de automação que parecem comportar-se como operadores humanos, onde utilizam como fonte de alimentação as informações sensoriais, executando a ação mais apropriada conforme sua programação.

Historicamente, a automação industrial ganhou grande visibilidade através do modelo de montagem Ford, no qual criou linhas de montagens de produção em massa no ano de 1920. Com o desdobramento da Segunda Guerra Mundial, os sistemas de controle passaram a marcar presença na indústria. Anos mais tarde, em 1960, iniciava

era tecnológica, onde surgiam os primeiros microcomputadores. Apenas em 1980, em decorrência da grande competitividade a nível global, ocorrera o barateamento de hardware, tornando o acesso a esses dispositivos mais facilitado (OLIVEIRA, 2002).

Novas estratégias passaram a surgir, como qualidade, custo e racionalização de energia e matéria-prima, contribuindo para que o desenvolvimento dos computadores permitisse sua utilização em todos os níveis setoriais. A partir da década de 1990, os instrumentos de inteligência começaram a surgir integrando as redes locais industriais. Para (OLIVEIRA, 2002), a automação é uma área heterogênea onde os produtos que são alvo de sua aplicação, se completam.

Especificamente na automação industrial, encontra-se a automação de manufatura onde destacam-se metodologias como robótica, comando numérico por computador, entre outros. A produção industrial é decorrente de uma soma de várias etapas, onde cada uma delas pode ser desempenhada por um componente diferenciado. Sugere-se que sejam desenvolvidos diversos subsistemas interligados por meio de uma rede nos quais irão permitir a realização de dado processo, de maneira com que as atividades sigam uma coordenação que resulte em um processo de maneira adequada (MAITELLI, 2003).

Na indústria, a rede é responsável por viabilizar a troca de informações entre controle e processo. Constitui-se em quatro níveis de hierarquia, onde cada um deles é responsável por realizar a conexão de equipamentos diferenciados. Todavia, faz-se necessário compreender o conjunto de métodos que viabilizam a construção dos sistemas ativos que permitem a atuação de uma eficiência maior, conforme ocorre o recebimento das informações no ambiente no qual atuam (COSTA, I. M.; LISBOA; SANTOS, 2002).

Esses sistemas resultam no desempenho de um processo por meio de um atuador, que realiza o comando através de controladores provenientes das informações e sensores. De todo modo, (COSTA, I. M.; LISBOA; SANTOS, 2002) acreditam que a conceituação para automação ainda se resume à utilização de potências elétricas ou mecânicas, que são acionadas a partir de algum tipo de maquinário somado a uma inteligência que objetiva a execução de suas tarefas de maneira eficaz, vislumbrando segurança, otimização de tempo e custos.

Diante da evolução tecnológica, empresas passaram a adotar condutas que exigissem a atividade e implantação desses mecanismos a fim de contribuir de maneira integral, com base em diversas teorias e modelos de gestão. A automação industrial tem desempenhado grande papel contributivo no que tange a entrega de resultados visando a redução de recorrência de erros e consequentes gastos, não somente monetários, mas também físicos em questão de insumos (COSTA, I. M.; LISBOA; SANTOS, 2002).

1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

O desafio em buscar melhorias e reduzir custo tem sido comum no mercado mundial onde ferramentas para auxiliar nesta conquista são criadas, resultando em retornos positivos em virtude do processo. Diante destas ferramentas e do intuito de minimizar gastos, enquadra-se o conceito de Manufatura Enxuta. Esta tem como princípio básico ferramentas e técnicas para eliminar desperdícios, na questão de material, tempo de estoque, mão de obra e em outras diversas atividades.

O conceito de produção enxuta originou-se da necessidade das empresas japonesas do setor automobilístico, em especial a Toyota Motor Company, desenvolverem métodos diferentes de fabricar veículos em relação aos utilizados pela indústria americana. Na indústria americana predominava o sistema de produção em massa da Ford Company e General Motors, e era evidente que não havia possibilidades de dar início a uma concorrência baseando-se nos mesmos conceitos. Diante disso, resultou um novo modelo de sistema de produção, conhecido como Sistema de Produção Enxuta ou Sistema Toyota de Produção (Lean Manufacturing/Lean Production), conforme citado por

uirements.

Com foco na produtividade e a redução de custos oriundos do fator tempo, fez-se necessário um estudo para tornar o tempo utilizado em um sistema produtivo mais eficiente. Desde que Taylor iniciou os estudos sobre análise de tempos e métodos na Administração Científica, foram surgindo outros que aprimoraram o sistema. A partir destes estudos, Taylor juntamente com Schwab e Stergemerten criaram um sistema de tempos pré-determinados MTM (Methods - Time MeasurementI), (BENEŠOVÁ; TUPA, 2017).

Esse método pode ser utilizado tanto na fase de planejamento de um produto quanto na análise de execução, onde é avaliado o método utilizado, visualizando e colocando em prática as melhorias. Diversas empresas comprovaram resultados expressivos em produtividade e redução de custos utilizando esta metodologia.

1.3 OBJETIVOS

Melhorar a produtividade da linha de montagem final da Válvula A10, de forma que seja possível aumentar a capacidade produtiva.

Os objetivos específicos do projeto são:

- Melhorar a produtividade para suprir a necessidade do mercado;
- Realizar avaliação técnica de desempenho;
- Reduzir tempo de ciclo de produção;

- Eliminar desperdícios;
- Melhor índices de qualidade.

1.4 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Conforme exibido, o referido trabalho viabiliza a otimização de tempo do gargalo da produção da montagem final de um componente produzido pela Bosch Rexroth, compactuando com aumento de produtividade no setor, para que seja possível atender a demanda de mercado e conseqüentemente, aumentar a lucratividade.

1.5 METODOLOGIA

Para melhor compreensão, o projeto foi dividido em duas etapas, a primeira foi a etapa teórica que consiste no levantamento bibliográfico. Foi realizado uma revisão bibliográfica de cunho exploratório. Para tanto, utilizou-se a base de pesquisa CAPES para que fosse possível filtrar por meio dos seguintes descritores: ARENA, Manufatura Enxuta, Lean Six Sigma e Trabalho Padronizado.

Foram utilizados como critérios de inclusão para a parte teórica, publicações entre os anos de 2011-2022, nos idiomas inglês e português, com conteúdo na íntegra e com temas compatíveis ao proposto. Como critérios de exclusão, foi realizado uma seleção na qual permitiu a retirada da base de dados, publicações duplicadas, em outros idiomas, que não correspondessem com a temática proposta e tampouco possuíam compatibilidade com os objetivos traçados.

A segunda parte consistiu na construção da proposta de melhoria para o setor de produção de montagem final de válvulas do modelo A-10 da Bosch. Nessa etapa foi realizado uma pesquisa de campo entre Novembro de 2021 à Janeiro de 2022, para que fosse possível a familiarização com o processo de produção bem como ferramentas de utilização e identificação do problema. Posteriormente, as estações de montagem e de testes foram fotografadas para que fosse possível elaborar um novo layout que auxiliasse na otimização de tempo e aumento de produtividade.

Em seguida, foi utilizado o software Arena para que fosse possível realizar as análises do setor bem como suas respectivas melhorias. A partir do resultado dessas análises, foi realizado a etapa de simulação, no qual permitiu avaliar a eficiência do projeto e possível implantação a fim de alcançar os objetivos aqui propostos.

1.6 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Para melhor compreensão, a monografia foi fracionada em cinco capítulos. Iniciando pela introdução, onde buscou-se apresentar o problema, objetivos e metodologias de pesquisas aplicadas.

O segundo capítulo buscou contextualizar o local de realização do projeto, apresentando quantidade de funcionários, localização, entre outros.

O capítulo três trata da revisão de bibliografia, onde foram apontadas as principais metodologias de planejamento para a construção do modelo e possíveis melhorias para a célula de montagem.

O capítulo quatro trata da problemática, onde buscou-se discutir sobre o problema, identificar as oportunidades, associar as metodologias apresentadas no capítulo três ao projeto em desenvolvimento, apresentar o projeto, expectativas e layouts.

O quinto capítulo trata da apresentação dos resultados. Apresenta dados quantitativos bem como a fundamentação de suas análises. Apresenta também o custo orçamentário e a análise financeira da relação de custo e benefício.

O sexto e último capítulo traz as considerações a respeito da realização e impacto do projeto.

2 LOCAL DE REALIZAÇÃO DO PROJETO

2.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A Bosch Rexroth é uma empresa de origem alemã, é especialista na área de tecnologias de acionamento e controle. A empresa desenvolve conceitos inovadores para construção de máquinas e instalações industriais em todo o mundo, hoje em dia é sinônimo de soluções customizadas.

De acordo com (BOSCH. . . , 2014), em setembro de 1964, a Rexroth iniciou suas atividades com um escritório de vendas no Centro de São Paulo. Pouco depois, em 1967, a estrutura cresceu e a empresa foi transferida para um galpão alugado em Diadema (SP) onde começou a fabricação de válvulas, cilindros e unidades hidráulicas. A abertura da filial brasileira era parte de uma estratégia global da companhia, que já era destaque no ramo de sistemas hidráulicos e começava sua internacionalização. A filial brasileira foi a primeira subsidiária fora da Europa e a pioneira nas Américas.

Ainda segundo (BOSCH. . . , 2014), em 1972 a multinacional inaugurou no Brasil sua fábrica em planta própria, também em Diadema, onde passou a produzir muitos dos componentes vendidos pela companhia no mundo. Em 1973, os membros da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) aumentaram muito o preço do barril, dando início a uma grave crise econômica global. Como o Brasil precisava de valores em dólares para comprar petróleo, o governo adotou medidas de restrição à importação, obrigando os empreendimentos no país a comprarem insumos de outras empresas que atuavam em solo brasileiro.

Assim, a Rexroth tornou-se uma das grandes fornecedoras de componentes para o parque fabril brasileiro. A empresa forneceu sistemas hidráulicos para quase todos os projetos de expansão da siderurgia, previstos no Terceiro Plano Nacional de Desenvolvimento, lançado pelo regime militar em 1979.

Com a aquisição da norteamericana Wabco, segundo (BOSCH. . . , 2014), a Rexroth criou uma divisão especializada em pneumática. Com a entrada nesses novos segmentos, a empresa firmou-se como uma fornecedora de tecnologia de ponta, investindo na área de automação e reorganizando-se em quatro unidades tecnológicas: Hidráulica Industrial e Mobil; Tecnologias de Acionamento Linear e de Montagem; Pneumática e Acionamentos Elétricos e Controles. Em 1989 parte das atividades foi transferida para Pomerode, ao norte de Santa Catarina. Em 1995 foi inaugurada uma planta própria no município catarinense. Em 2001, a Rexroth foi adquirida pelo Grupo Bosch. Da fusão entre as duas corporações nasceu a Bosch Rexroth.

A fábrica de Pomerode foi ampliada e reinaugurada em 2006. Até 2019 a companhia contava com 31.000 colaboradores, sendo 2.900 colaboradores nas Américas.

De acordo com (BOSCH. . . , 2022), a Rexroth apresentou um total de vendas de 6.2 bilhões de euros, 1.11 bilhões de euros nas Américas e 3.43 bilhões de eu-

ros na Europa em 2019, onde fica localizada sua matriz, a Bosch Rexroth investiu aproximadamente 348 milhões de euros em pesquisa e desenvolvimento.

2.1.1 Missão e Valores

A missão da Bosch é oferecer soluções tecnológicas para os desafios atuais da humanidade, nomeadamente a preservação do meio ambiente e dos recursos naturais. Os valores do grupo Bosch refletem a maneira como os negócios são geridos: ética profissional no relacionamento com os parceiros de negócios, investidores, colaboradores e sociedade:

- Orientação para o futuro e foco nos resultados;
- Responsabilidade e sustentabilidade;
- Iniciativa e determinação;
- Abertura e confiança;
- Justiça;
- Confiabilidade, credibilidade, legalidade;
- Diversidade.

2.1.2 Produtos e Dados da Planta Bosch Rexroth Pomerode

O projeto foi realizado na planta de Pomerode, em Santa Catarina. A planta fica a uma distância de 680 km da matriz do grupo Bosch Rexroth no Brasil, localizada em Itatiba - São Paulo.

Figura 1 – Localização da Planta Bosch Rexroth em Pomerode.



Fonte: Acervo Próprio (2022).

A planta de Pomerode possui uma área construída de aproximadamente 25.000 m². Até o ano de 2021, contava com 500 colaboradores e um faturamento de 350 milhões por ano somente produção local. Seu foco é a produção de componentes e sistemas hidráulicos, engenharia de produto para customização local e funciona também como um centro de distribuição para o Brasil e a América do Sul.

A planta pode ser dividida entre as seguintes unidades de negócios:

1. MCO - Blocos Mobil: os blocos de controle são os centros de controle para acionar e trabalhar a hidráulica em máquinas móveis. A gama de produtos inclui todos os elementos de função hidráulica necessários para este fim, bem como os projetos correspondentes (blocos mono e de chapa, elementos plug-in e montados externamente). É complementada por sensores eletrônicos integrados, controles e elementos de controle. A Figura 2 mostra as três variações de blocos mobil produzidas pela planta de Pomerode.

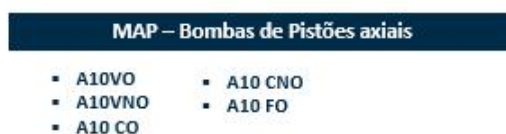
Figura 2 – Blocos Mobil e suas variações.



Fonte: (BOSCH. . . , 2022).

2. MAP - Bombas de Pistões Axiais: as bombas de pistão axiais em chapa oscilante e projeto de eixo dobrado são destinadas para a faixa de média e alta pressão. Apresentam numerosas variações nos projetos, faixas de desempenho, opções de ajuste. Oferecendo assim soluções ideais para aplicações móveis e estacionárias. Na Figura 3 são representadas as bombas e suas cinco variações produzidas pela Bosch na planta de Pomerode.

Figura 3 – Bombas de Pistões Axiais e suas variações.



Fonte: (BOSCH. . . , 2022).

3. OEG - Bombas de Engrenagens: as bombas de engrenagens externas são bombas de deslocamento econômicas. Elas estão disponíveis em muitas versões diferentes, como pode-se visualizar na Figura 4.

Figura 4 – Bombas de Engrenagens e suas variações.



Fonte: (BOSCH... , 2022).

4. CHY - Blocos Compactos

Figura 5 – Blocos Compactos e suas variações.



Fonte: (BOSCH... , 2022).

5. IPM - Unidades Hidráulicas: a Figura 6 representa as unidades hidráulicas. As unidades possuem conceito modular, diversas opções de circuitos para atender e motores de corrente contínua e alternada de diversas potências. Apresentam também a possibilidade de reservatórios em plástico ou aço em diversos tamanhos e montagem adicional de válvulas direcionais.

Figura 6 – Unidades Hidráulicas e suas variações.



Fonte: (BOSCH... , 2022).

6. LMT - Tecnologia Linear: a Figura 7 representa os componentes e sistemas lineares. Esses componentes fornecem a base para fabricar máquinas e sistemas de automação. A alta qualidade e durabilidade da Tecnologia de Acionamento Linear Bosch Rexroth garante a máxima disponibilidade do sistema. Possui mais de 1000 produtos e princípio modular, permitindo a criação de uma solução individual para o cliente.

Figura 7 – Tecnologia Linear e suas variações.



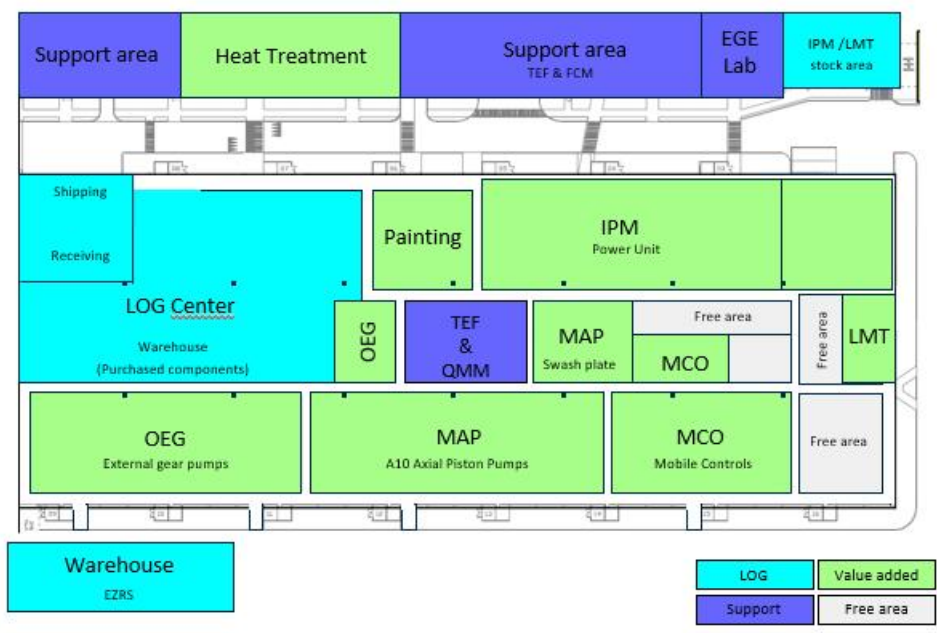
Fonte: (BOSCH. . . , 2022).

2.1.3 Organização Interna

Ao nível de organização, a produção está estruturada em três seções gerais:

1. Logística: refere-se a área em azul na Figura 8. Trata-se da área de recebimento, embarque e depósito dos produtos e componentes.
2. Valor agregado: na Figura 8, representa a área verde e refere-se as operações produtivas. Dentro dessa área, é como se cada unidade de negócio pudesse ser descrita como uma mini-fábrica. O projeto foi realizado na mini-fábrica MCO, onde são produzidas as Válvulas A-10.
3. Suporte: as áreas de suporte englobam as funções técnicas dentro da fábrica, como fornecimento de materiais indiretos para a produção e laboratórios de testes. Pertence a área em roxo da Figura 8.

Figura 8 – Organização interna Bosch Rexroth.



Fonte: Acervo Próprio (2022).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para dar início ao estudo de caso, alguns fundamentos e conceitos teóricos foram essenciais para esclarecer quais pontos deveriam ser considerados no mesmo bem como entender quais indicadores seriam afetados pelas ações e como colher os melhores resultados em cada uma delas. Portanto, na fundamentação teórica foram abordados temas como produtividade, manufatura enxuta, mensuração de métodos e tempos, trabalho padronizado e lean six sigma.

3.1 PRODUTIVIDADE

Mundialmente, o cenário industrial passou a sofrer modificações em devido a influência dos feitos da revolução industrial, nos quais passaram a surgir melhorias que compactuassem com a entrega de resultados aprimorados em virtude do processo produtivo. A automatização de atividades repetitivas que são desempenhadas por operadores, por exemplo, é uma das estratégias que passaram a surgir em decorrência da alta demanda, tempo de entrega e principalmente, motivada a partir do desenvolvimento tecnológico.

Essas tecnologias passaram a reduzir o desgaste físico dos operadores, fazendo com que esses passassem a assumir local de monitoria perante à essas invenções, reduzindo a probabilidade de erros, aumentando a produtividade e conseqüentemente gerando mais receita. Quando se fala sobre produtividade, é necessário compreender seu conceito, principalmente na tangente industrial (BENEŠOVÁ; TUPA, 2017).

A produtividade de uma determinada empresa, conforme (RITZMAN; KRAJEWSKI, 2004), pode ser avaliada de diversas formas. É possível atribuir a ela medidas físicas ou monetárias, bem como resultados relativos ou absolutos. Porém, o mais importante é estabelecer, de forma clara, o acompanhamento da produtividade em um período determinado e o custo-benefício de realizar esse acompanhamento.

A produtividade pode ser definida como a capacidade de produzir, partindo da quantidade de recursos utilizada, ou ainda o estado em que se dá a produção. Portanto, a produtividade é a relação entre os resultados efetivos da produção e os recursos produtivos que foram aplicados a ela, como: toneladas produzidas/homem-hora, peças/hora-máquina, carros produzidos/funcionário-ano, etc. Sendo assim, é possível medir a produtividade para cada recurso, isoladamente, sendo possível acompanhar e avaliar o desempenho de cada um, ou também é possível medir a produtividade também a partir da consideração da totalidade dos recursos utilizados para gerar uma determinada produção (bens ou serviços), (ALDRIGHI; COLISTETE, 2015)

Segundo (ALDRIGHI; COLISTETE, 2015), o crescimento da produtividade na manufatura brasileira passou a ser decomposto entre os anos de 1945-1990. Os autores acreditam que inicialmente a produtividade nesse setor foi descrita e fundamentada

a partir dos ganhos dentro da cadeia industrial. Isso porque observou-se a partir de análises estatísticas, uma média de 4,2% dos trabalhadores que sofreram realocação no setor industrial, enquanto que a demanda de participação integral dos trabalhadores desse setor, resultava em -18,5%. Com o passar dos anos, o realocamento desses operadores passou a contribuir positivamente em média de um crescimento agregado de 114,4%, resultando em uma produtividade de 4,5% ao ano.

Nesse passo, (PORCILE; HOLLAND, 2005) acreditam que o aumento de produtividade nas indústrias brasileiras, passou a ocorrer de maneira progressiva a partir da década de 1970, se estendendo até os anos 2000. Segundo dados da Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), a relação da manufatura do Brasil com a produtividade é extensa e varia anualmente de acordo com o cenário econômico no país, tendo em vista grande deslanche a partir do fim dos chamados “anos dourados”, anos 70. Esse período foi marcado pelo desenvolvimento da economia internacional, contribuindo para que a produtividade deixasse de ser resumida à apenas modificações na estrutura de trabalho.

Achados nos estudos de (KUPFER; ROCHA, Federico, 2005) sugerem que a produtividade passou a ser estudada e compreendida entre os anos de 1996-2001, indicando que esteja associada aos componentes de mudança estrutural no qual decompunham de maneira controlada as atividades. Nesse período, os autores elucidam que a trajetória de aumento corresponde a uma média estatística de 2,35% ao ano.

Corroborando com esses achados, (ROCHA, Frederico, 2007) em seu estudo avalia a produtividade industrial no mesmo período do estudo anterior. Associando esta à realocação estática intersetorial, indica um aumento total de 121,91% o que corresponde a um total de 1,77% ao ano, tendo em vista que anteriormente ao ano de 1970, os indicadores indicavam uma média negativa de -106,66% de demanda não atendida.

Um outro estudo mais recente realizado por (JACINTO; RIBEIRO, 2015), contou com dados das Contas Nacionais que indicavam o crescimento da produtividade manufaturada brasileira entre os anos de 1996-2009. Os autores concluíram que durante esse período a manufatura enfrentava um crescimento negativo, corroborando com resultados negativos nos efeitos intrassetoriais, indicando melhor desempenho apenas à partir de setembro de 2002. Essa melhor performance parece estar associada, segundo os autores, ao desempenho subjacente do setor industrial.

3.2 MANUFATURA ENXUTA

Segundo (PAUL; BHOLE; CHAUDHARI, 2014) et al. diante da necessidade de melhorar sua competitividade no mercado de trabalho, as empresas passaram a adotar condutas administrativas que viabilizassem o aumento da qualidade e da produtividade a Manufatura Enxuta surge como com base no modelo de produção do Sistema Toyota

de Produção (STP), fruto do trabalho de Toyoda e Ohno, ambos da Toyota Motor Company. Esse modelo surgiu no Japão logo após o fim da Segunda Guerra Mundial onde surgiu a necessidade de desenvolver um novo modelo gerencial que tinham por objetivos a qualidade e flexibilidade do processo, ampliando sua capacidade de produzir e competir no cenário internacional.

A manufatura enxuta nada mais é do que um método objetivo de fabricação. Isso porque podemos dizer que esse valor é agregado na indústria e cliente, visando evoluir as práticas de Manufatura Enxuta específicas do setor com referência especial à fabricação de bens de engenharia indústrias. Eles são devidamente validados para mostrar como eles alcançam maiores volumes de produção através do uso mínimo de recursos e, assim, obtém vantagem competitiva por meio de benefícios operacionais (SUBHA et al., 2012).

Para (ADE; DESHPANDE, 2012) a produtividade é melhorada através da manufatura enxuta isso porque esse método resulta em otimização e coordenação dos recursos de entrada para minimizar o resíduos para reduzir o custo total de produção. Nesse passo, (RAMAMOORTHY, 2011) sugere que a implementação das ferramentas de manufatura enxuta quando associada com técnicas nas instalações de fabricação auxiliam no desempenho adequado para atender a demanda do cliente e expectativas.

(RAMEEZ; INAMDAR, 2010) et al. descrevem que para que a metodologia de manufatura enxuta alcance seus objetivos, é necessário o desenvolvimento de 'áreas-chaves' que serão usadas para avaliar a adoção e Implementação de práticas de manufatura enxuta. Um estudo realizado por (PAUL; BHOLE; CHAUDHARI, 2014) et al. discutem o estudo de simulação realizado para propor layout de linha de uma peça com recursos do manufatura enxuta. Essa conduta resultou em um melhor desempenho do sistema de reabastecimento, otimizou o processo de trabalho, contribuiu para a mudança de layout, ademais, sugerem que a adequação ao trabalho padronizado e técnicas de gerenciamento resultaram em redução de tempo de ciclo e harmonização de trabalho frente suas configurações de tarefas.

Diante disso, temos a manufatura enxuta compreendida como cinco princípios como: valor, fluxo de valor, fluxo e sistema puxado. A soma desses princípios resultam no princípio da perfeição. Esses princípios auxiliam na viabilização de uma maior flexibilidade às organizações, transformando-as em instituições capazes de atender de maneira efetiva as necessidade reais de seus clientes.

A produção de um bem consiste em um caminho com várias sequências de atividades que marcam seu início e fim. Essas etapas variam entre transformação física de materiais à entrega final do produto ao cliente, tendo em vista sua demanda e qualidade, e análise de toda cadeia de valor para cada um destes produtos bem como todos os dados de operação de transformação e fluxo de informações associadas ao processo (LAZZAROTTO, 2015).

Dessa forma, segundo (MARCHWINSKI; SHOOK, 2003), existem três ações que permitem a identificação dessa cadeia de valor, que são respectivamente a etapa que gera valor ao produto para os olhos do consumidor, no qual viabiliza a compra do bem através do desejo de tê-lo independente de preço; etapa que não cria valor porém é necessária, mesmo que embora não agreguem valor ao produto não possuem viabilidade para serem excluída em um futuro próximo, sua exclusão é viável após um estudo a longo prazo, pois são complexas demais para tal; etapas que agradam o consumidor porém não agregam valor ao bem, essas são tidas como etapas desnecessárias em qualquer cenário isso porque nessa fase, o desperdício é evidente, torna-se necessário eliminá-lo.

Além disso, (LAZZAROTTO, 2015) completa a citação anterior com a necessidade de o valor agregado possuir identificação e especificação precisas; quando específica, é necessário que a cadeia de valor esteja mapeada de maneira total na visão de empresa enxuta; garantir que as etapas que resultam em desperdícios tenham de fato, sido eliminadas, permitindo que todas as etapas demais que geram valor, percorram um caminho progressivo e sem interrupções.

Tem-se também a produção puxada, que consiste em um processo que não deve anteceder a produção ao menos que o cliente tenha solicitado. Dessa forma, esse sistema atua como ordenador do momento e quantidade exata a ser produzida, tendo em vista a necessidade do processo posterior. Quando atendida as necessidades desses clientes, o sistema de produção puxada passa a reduzir os inventários, passando a detectar possíveis problemas de maneira ágil, viabilizando ações imediatas para que seja possível solucioná-los (LAZZAROTTO, 2015) e (ROTHER; SHOOK, 2003).

A atratividade da indústria bem como os fatores determinantes a longo prazo, está associada à capacidade de acentuar o retorno a respeito dos seus investimentos a longo prazo, de modo que proporcione vantagem competitiva sobre os concorrentes. A competitividade de mercado industrial impõe que para que seja possível a empresa alcançar tal vantagem, é fundamental que haja posicionamento de estratégias no que tange à busca de liderança em custos ou diferenciação. Isso porque, quando adotada de maneira consistente, esta contribui para a escolha da melhor conduta a ser adotada pela empresa (MACEDO; POSSAMAI, 2013).

Portanto, observa-se que a manufatura possui grande autonomia no que tange ao incentivo direto sobre a gestão de produção. Assim, o desempenho competitivo está associado à performance de atividade eximida de erros, com grande velocidade e entrega rápida. Busca atender e surpreender o cliente, garantindo prazo de entrega e competência para a produção de novos produtos dentro dos limites definidos no mercado, garantindo flexibilidade para que haja adaptação aos requisitos do cliente, buscando atender de maneira gradual uma faixa grande de produtos, desde que haja

habilidade para atender aos requisitos de precificação competitiva, atenuando a atividade dos concorrentes e visando um maior lucro (PAUL; BHOLE; CHAUDHARI, 2014) et al.

A diferenciação sustentável está agregada à execução de maneira única de um rol de atividades de grande valor que permite grande influência no processo de aquisição, contribuindo para que as empresas apostem de maneira mais assídua na gestão de conhecimento de um diferencial competitivo, isso porque ela viabiliza a produção e utilização do conhecimento de toda a empresa para que seja possível alcançar objetivos e metas traçados a partir do planejamento estratégico. Esse é um sistema utilizado de maneira comum na atualidade no qual as organizações passaram a definir suas estratégias, possibilitando uma revisão de suas estratégias bem como seus valores. Internamente, no recluso empresarial, são descritos como valores as habilidades, conhecimentos, recursos físicos gerenciais e tecnologias, que passaram a serem vistos como habilidades para desempenhar diferenciais competitivos para a organização, nos quais garantem as vantagens no mercado (TEIXEIRA, 2000).

3.3 MENSURAÇÃO DE MÉTODOS E TEMPOS

Segundo (ALMEIDA; FERREIRA, 2009) na última década o mundo enfrentava um cenário com recursos escassos, e a sociedade está cada vez menos aceitando pagar o alto preço do produto. Para se manterem estáveis e alcançarem sucesso, as empresas precisam cada vez mais reduzir os desperdícios para que produtos possuam maior qualidade, custos mais baixos e tempos de produção mais curtos para atender a demanda de clientes. Além da alta competitividade entre empresas, o nível de exigência dos clientes está cada vez maior, exigindo conseqüentemente o aumento da mão de obra dos trabalhadores para que seja possível alcançar o esperado: o produto final e satisfação do cliente.

Os Métodos de Medição de Tempo (MTM) surgem como alternativa para melhorar o aproveitamento dos recursos disponíveis, objetivando o aumento da produtividade, portanto o MTM é definido como um instrumento para descrever, estruturar, configurar e planejar o trabalho de maneira sistêmica por meio de módulos de processos definidos, buscando ser um padrão eficiente de sistemas de produção (CAKMAKCI; KARASU, 2007).

A metodologia MTM é um método para estruturar sequências em movimentos básicos. O valor que de um tempo padrão é atribuído a cada movimento básico, que é (pré) determinado em função dos fatores que influenciar sua composição. A metodologia MTM pode ser aplicada para: configuração dos métodos de trabalho e produtos; determinação de tempos; descrever o método como uma forma de documentação para treinamento (ALMEIDA; FERREIRA, 2009).

Para (CAKMAKCI; KARASU, 2007), a metodologia MTM baseia-se nos seguin-

tes cinco movimentos básicos: alcançar, agarrar, mover, posicionar e para liberar. Esses movimentos compõem entre 80% a 85% dos procedimentos que são desempenhados por seres humanos. Além desses movimentos básicos, as seguintes ações são usadas para descrever os movimentos: aplicar pressionar, separar, torcer, movimentar e observar. Basicamente, "o método determina seu tempo". Quando usada para questões de planejamento, dessa forma a metodologia MTM justificaria a premissa que é "evitar custos ao invés de reduzi-los", ou seja, um planejamento de um processo pode ser executado desde o início sem os custos extras associados às ineficiências do processo.

Desta forma, uma vez definido o procedimento para todas as tarefas e com um horário pré-determinado em mãos, também é possível determinar o tempo necessário para cada uma delas. Com a ajuda desta ferramenta, é possível estabelecer e definir as melhores sequências e cronogramas de trabalho artesanal. Isso se aplica não apenas aos processos existentes, mas principalmente aos processos que estão em fase de implementação, o que permite que sejam ajustados para atender aos requisitos definidos do método de análise MTM.

Em um ambiente cada vez mais competitivo, a tendência é que as empresas busquem melhorar seus processos e aumentar sua produtividade. Ao analisar as operações do dia-a-dia, fica claro que a forma como algo é feito e o tempo gasto na mesma, são fatores importantes para o sucesso (ou não) de um produto ou serviço. Nesse sentido, estratégias e métodos de tempo auxiliam os gestores na análise dos processos produtivos e na melhoria dos resultados obtidos pela empresa.

3.4 TRABALHO PADRONIZADO

Segundo (HUNTZINGER, 2006) historicamente, o trabalho padronizado está atrelado à filosofia *Lean Thinking* onde possui raízes no Training Within Industry (TWI), oriunda dos Estados Unidos. Surgiu como uma conduta de treinamento para mão de obra durante o período que corresponde a Segunda Guerra Mundial. Esse programa visava atender a demanda de mão de obra qualificada. No mesmo período, o TWI passou a ser disseminado no Japão associado aos programas de qualidade. Para (LIKER; MEIER, 2007), as condutas de instrução de trabalho também conhecidas como *job instructions* do TWI passou a incorporar-se às práticas da Toyota, marco inicial da conceituação do trabalho padronizado que atualmente é utilizado no *Lean Thinking*.

A partir de então, diversos estudiosos passaram a conceituar trabalho padronizado com diversas definições que passaram a convergir uma identificação precisa por meio dos três respectivos elementos: *takt time*, que diz respeito à velocidade onde os clientes realizam a solicitação dos produtos finalizados, onde esta velocidade é determinada a partir da divisão do tempo total disponível de produção por turno da demanda

deste; sequência, é a ordem de organização das atividades que cada colaborador deve realizar dentro do *takt time*; e estoque padrão, que corresponde à quantidade mínima de estoque suficiente para a manutenção da continuidade no fluxo produtivo (SMALLEY, 2005); (ROTHER; HARRIS, 2002).

Segundo (LIKER; MEIER, 2007), o fundamento de atribuir procedimentos para cada trabalhador auxilia na diferenciação de trabalho padronizado, uma vez que este, foca nos movimentos do trabalhador, das instruções de trabalho ou outras medidas tradicionais de padronização que focam no processo e/ou nas etapas que o produto é submetido durante o processo de produção.

De acordo com o (LÉXICO, 2003) a Folha de Capacidade de Produção (FCP), Diagrama de Trabalho Padronizado (DTP) e Tabela de Combinação de Trabalho Padronizado (TCTP) são documentos básicos utilizados por gestores e engenheiros para estruturar o processo e pelos operadores, para contribuir com o aperfeiçoamento de suas atividades. Esses documentos são utilizados de maneira comum na estruturação de trabalho padronizado.

As definições desses documentos estão especificadas no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 – Documentos utilizados para estruturação de processos.

Folha de Capacidade de Produção (FCP)	Formulário responsável por determinar a capacidade de produção de cada máquina em determinado processo, tendo em vista os fatores como o tempo manual da operação, o tempo de ciclo das máquinas e <i>set up</i> .
Diagrama de Trabalho Padronizado (DTP)	Responsável por ilustrar o deslocamento dos operadores na área de trabalho por meio de um layout. Auxilia o colaborador sobre como ele deve desempenhar seu trabalho em relação à sequência do trabalho e à localização do estoque.
Tabela de Combinação do Trabalho Padronizado (TCTP)	Trata-se uma tabela que apresenta a combinação do tempo de trabalho manual e o tempo de processamento da máquina. Quando completa exibe as interações entre operadores e máquinas no processo analisado. Também permite que seja recalculado o conteúdo de trabalho dos trabalhadores, conforme o tempo <i>takt</i> expande-se ou contrai-se.
Folha de Estudo de Processo (FEP)	Planilha que desempenha o papel de auxiliar na coleta de tempos de um processo a partir da identificação e da cronometragem de cada elemento de trabalho, no qual pode ser definido com “o menor incremento de trabalho que pode ser transferido a outra pessoa”.
Gráfico de Balanceamento do Operador (GBO)	Quadro que descreve a distribuição da carga de trabalho entre os trabalhadores em vista do tempo <i>takt</i> , baseado em dados reais observados e registrados pela FEP.
Diagrama de Espaguete	Ferramenta que exibe o deslocamento de um produto ou deslocamento de um trabalhador, auxilia na ilustração dos desperdícios relativos ao deslocamento dos funcionários.

Para (NARUSAWA; SHOOK, 2009), existem outros documentos como a Folha de Estudo de Processo (FEP) e o Gráfico de Balanceamento do Operador (GBO). Os autores acreditam que esses documentos auxiliam na estruturação do trabalho padronizado. Segundo Marksberry et al. (2011), a FEP viabiliza a coleta de dados, enquanto que GBO auxilia na análise de dados coletados pela FEP. Outros autores da literatura como (ALUKAL; MANOS, 2006), afirmam que o diagrama de espagete auxilia na evidência dos desperdícios relativos ao deslocamento e transporte realizados pelos colaboradores.

Os estudos de (ROTHER; HARRIS, 2002) ao abordarem a respeito do fluxo contínuo, sugerem a estruturação de trabalho padronizado por meio de um guia, comumente utilizado na manufatura. Esse guia consiste em onze perguntas e dois passos de implantação que viabilizam a identificar os desperdícios em níveis de movimentação do trabalhador bem como o planejamento de sua eliminação. Dessa forma, atua como grande consolidador de melhoria por meio de trabalho padronizado resultante.

3.5 TAKT TIME

Para (DUGGAN, 2018) a demanda por um rol de produtos pode ser calculado usando previsões ou dados históricos de vendas para determinado período ou usando uma carteira de pedidos. Takt time, em seu contexto comum, é normalmente definido em termos de segundos ou minutos. A palavra vem da palavra alemã “*takt*”, que significa batimento cardíaco ou ritmo. O período *Takt* foi usado pela primeira vez na década de 1930 na produção de aeronaves alemãs. Vinte anos depois, ele fez uma contribuição significativa para o crescimento da Toyota.

A compreensão do pensamento de gestão *takt time* só pode ser alcançada através do reconhecimento natural de um processo que tem suas origens. *Takt time* pode ser definida como a quantidade em que é necessário para concluir um produto para atender às necessidades do cliente. Ou seja, é uma medida de vendas e pode ser facilmente visto como o coração do seu processo de trabalho. Ele permite melhorar o volume da melhor maneira para atender à necessidade sem precisar manter uma lista de palavras.

Takt time é um parâmetro de projeto usado em configurações de produção, seja fabricação ou construção, ajustando a taxa de saída do trabalho à taxa de demanda do cliente. Experimentos da indústria mostraram que o planejamento e execução takt-time do trabalho pode gerar benefícios significativos em relação à economia de tempo, economia de dinheiro, melhoria da qualidade e outros benefícios (FRANDSON; BERGHEDE; TOMMELEIN, 2013).

Uma vez compreendidas as diferenças entre ideias de processo e desempenho, surge a necessidade de definir abordagens que permitam o desenvolvimento de sistemas de produção baseados no conceito de projeção baseado em processos. O

sistema Kanban é um exemplo muito popular de solução voltada para a melhoria de processos. No entanto, sua função é limitada a STP.

Kanban é usado para operar o sistema de transporte entre a primeira fase e a interseção da fase II. Na Fase II O sistema é organizado e controlado em base *takt time*. A partir daí o fluxo continua e o processo é composto pelo *takt time*, no sentido definido por (ROTHER; SHOOK, 2003).

Portanto, o período *takt* existe como um componente chave em dois sistemas de subprodução que operam em um fluxo combinado: composição (integração de componentes) e terminação automotiva e dentro das células de produção. O desempenho da fábrica de *takt-time* depende, em ambos os subsistemas, da presença de dois componentes: o sistema de comunicação e controle e o marcador de ritmo definido pelo *takt time*.

Em STP, grande parte do sistema de comunicação e controle é confiada a sistemas de gerenciamento visual. Em várias indústrias, os avanços nas operações contínuas e os veículos de soldagem subsequentes são claramente exibidos pelo gerente local em painéis, placas, etc. Esse tipo de abordagem pode ser entendido como a integração física do sistema de comunicação e controle dentro do próprio sistema de produção. Por fim, uma abordagem de gestão transparente visa aumentar a capacidade de processamento de informações em loja e reduzir o tempo de resposta das ações de controle dentro do sistema; controle é limitado ou integrado ao uso.

A compreensão dessas limitações leva à necessidade de expandir o conceito. Uma explicação mais detalhada parece ser a seguinte: *takt time* é a velocidade de produção necessária para atender a um determinado nível de demanda, dada a potência da linha ou da célula. Especificamente, *takt time* é um ritmo de produção atribuído à produção de um componente ou produto em uma linha ou célula, conforme proposto por (BINNINGER; DLOUHY; HAGSHENO, 2017); com a diferença de que é claramente reconhecido nesta definição que o ritmo exigido pode não ser suportado pelo sistema de produção. À luz dessa estrutura teórica, surgem algumas questões conceituais, especificamente quanto à correlação entre necessidade e capacidade.

Segundo (BINNINGER; DLOUHY; HAGSHENO, 2017) o *takt time* é tradicionalmente usado em ambientes de manufatura repetitivos, como em MTS. A definição de *takt time*, conforme apresentado acima, depende de uma demanda consistente. Portanto, o *takt time* varia quando há variação de demanda. Consequentemente, se o *takt time* é calculado com base em uma demanda ou backlog, é provável que flutue junto com a demanda, o que é lamentável para a padronização (LIKER; MEIER, 2007).

Na manufatura repetitiva, o *takt time* é normalmente calculado com base na demanda e na capacidade disponível, no entanto, em ambientes não repetitivos, o *takt time* pode ser definido de forma diferente, ou seja, se o tempo for confirmado, ele pode ser combinado com os recursos disponíveis, ou o gargalo do comércio pode ser

maximizado e então outros negócios podem ser influenciados a serem alinhados a ele (FRANDSON; BERGHEDE; TOMMELEIN, 2013).

(DUGGAN, 2018) sugere que para que seja possível lidar com as flutuações de demanda, é necessário criar várias capacidades *takt* a fim de responder a flutuações de demanda ou demanda sazonal. Isso é conhecido como modo de cadência, que são recursos caóticos predefinidos que são definidos para uma determinada situação de demanda - por exemplo, para cada trimestre de um ano.

3.6 LEAN SIX SIGMA

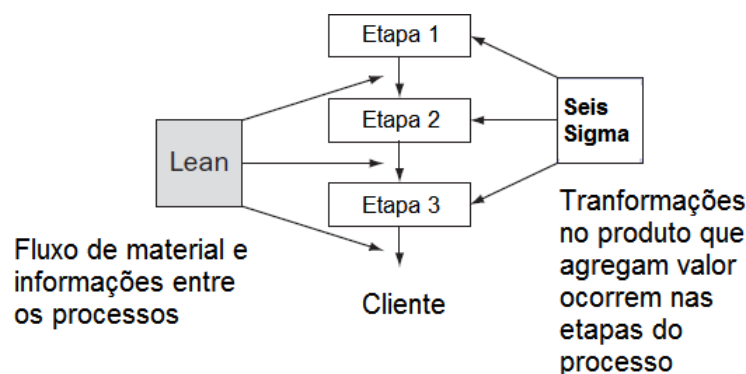
É evidente que ao longo dos anos as empresas tem se envolvido em diversos programas de qualidade e melhoria contínua dos processos para manter a competitividade. E para desenvolver e implementar essas estratégias, uma nova proposta que combina os conceitos de Six Sigma e produção Lean, baseada nos métodos e ferramentas de ambos os sistemas, foi discutida e integrada com várias empresas. Esta proposta recebe o nome exato de *Lean Six Sigma*.

O uso desses dois conceitos juntos não é novo, eles são usados há muito tempo de forma intercambiável, como duas técnicas diferentes de resolução de problemas, usadas em alguns casos de maneira informal e incompleta. Ambos os programas visam alcançar os mesmos resultados, mas funcionam de maneiras diferentes e, se não forem utilizados na integração, podem causar outros problemas, como aumento do tempo de conclusão do projeto e falta de recursos próprios de diferenciação (BOSSERT, 2003).

Segundo (ANTONY, 2011), o *Lean* foca na eficiência, na produção de produtos ou serviços o mais rápido possível e com baixo custo. Sua estratégia inclui uma série de ferramentas e estratégias para reduzir *lead time* (tempo de processamento), estoque, tempo de configuração, tempo de máquina parada, liberação e reciclagem, ou seja, foco constante na criação de valor extra, eliminando tarefas que não agregam valor ao produto. O *Six Sigma*, por outro lado, é um conceito de desenvolvimento de negócios que busca identificar e eliminar as causas da diversidade de processos, que leva ao fracasso, focando em seus resultados mais importantes para os clientes. Os princípios do *Six Sigma* podem ser usados para destacar e reduzir significativamente a variabilidade do processo, ajudando a criar um processo e um produto fortes, o que aumenta a qualidade do produto.

Em Snee, (SNEE; HOERL, 2007), o *Lean Six Sigma* pode ser comparado a um sistema semelhante ao mostrado na Figura 9, onde as caixas são as etapas do processo produtivo, onde se agrega valor ao produto, e as setas são as informações e o fluxo de mercadorias que ocorrem dentro de cada fase.

Figura 9 – Lean Six Sigma.



Fonte: (SNEE; HOERL, 2007).

De acordo com os autores, os problemas de fluxo são muitas vezes a causa do mau funcionamento do processo. Porém, em cada etapa pode haver variações ou funções que não aumentam o valor do produto, o que também pode ser uma causa de baixo desempenho. O sistema *Lean* funciona melhor quando usado para resolver problemas relacionados ao fluxo entre as etapas, enquanto que o *Six Sigma* é mais eficaz quando usado para reduzir a variabilidade em cada etapa do processo, o que aumenta a eficiência.

A redução de resíduos e o tempo de ciclo são importantes e necessários, mas não suficientes para alcançar um processo eficiente. Reduzir a variabilidade por si só não permitirá que a empresa atinja níveis excepcionais de eficiência. Nesse caso, é apropriado criar uma abordagem abrangente para o desenvolvimento do processo. Em outras palavras, para alcançar o máximo rendimento e desempenho, *Lean* e *Six Sigma* devem ser usados juntos como parte de uma abordagem de desenvolvimento holística. Eles devem ser usados juntos, em um sistema onde um complementa e fortalece o outro.

De forma sistemática e abrangente, são poucas as explicações na literatura que compõem a abordagem da metodologia *Six Sigma*, e como se eleva e como pode contribuir para alcançar o aumento da qualidade dos produtos e serviços oferecidos. Entre as explicações que tem-se, esta envolve o uso de estratégias matemáticas dentro de uma abordagem sistemática, a fim de obter as informações necessárias para obter produtos e serviços mais baratos, melhores e mais rápidos. A abordagem *Six Sigma* integra-se ao mundo dos negócios e possibilita maior sucesso nas empresas, método que foca na redução ou eliminação de erros e falhas do sistema. Ele pode ser usado em muitos campos de atividade econômica.

Em (PANDE; HOLPP, 2001), é uma abordagem dinâmica de liderança e desempenho empresarial e permite lucros rentáveis após sua implementação, tem como foco aperfeiçoar o sistema de produtividade, reduzindo de maneira máxima o desperdício

bem como suas fontes.

Six Sigma é definida como uma conduta tecnológica moderna utilizada para aperfeiçoar produtos e processos. (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001) afirmam que é um processo completo e flexível para alcançar, estabelecer e maximizar o sucesso organizacional, impulsionado por múltiplos fatores, sendo eles: necessidades dos clientes, aplicação direta de fatos, dados e análises estatísticas e atenção ativa da gestão, desenvolvimento e aperfeiçoamento dos processos de negócio.

Para (PANDE; HOLPP, 2001) et al. essa ferramenta oferece os seguintes benefícios: geração de sucesso contínuo, pois desenvolve as habilidades e a cultura necessárias para inovar constantemente nas empresas; determinação de metas de desempenho; consolidação de preços para os clientes, conforme o foco; melhorias de desenvolvimento, garantidas por ferramentas; a promoção do aprendizado, pois o processo envolve o compartilhamento de ideias e informações entre os funcionários e; transformação estratégica porque a ferramenta requer um entendimento detalhado do processo e isso traz a capacidade de implementar transições simples em mudanças complexas.

Outros princípios são essenciais para o sucesso do *Six Sigma* como: foco real no cliente, gerenciamento orientado por dados e verdade, foco no processo, gerenciamento e desenvolvimento, gerenciamento eficaz, colaboração e compartilhamento e busca da perfeição e tolerância a falhas (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001). Em (DANTAS JÚNIOR *et al.*, 2015) a abordagem é baseada em seis conceitos básicos: envolvimento de todos os níveis de gestão, consistência da prática, aplicação do pensamento matemático, ênfase no aprendizado e treinamento, foco no cliente e foco no impacto financeiro dos projetos propostos. A aplicação dos pontos-chave de *Six Sigma* permite uma mudança no foco corporativo em todos os aspectos das operações, particularmente nas áreas de design de produto e operações comerciais.

A nomenclatura *Six Sigma* é baseada em um parâmetro matemático relacionado à variabilidade. Segundo (CARVALHO *et al.*, 2008), “o termo sigma mede a capacidade do processo funcionar sem falhas”. Em geral, o comportamento dos processos pode ser analisado matematicamente e representa uma curva comum bem definida por dois parâmetros matemáticos: média (μ) e desvio padrão (σ), que indica o quanto o processo difere dessa definição. Quanto menor a taxa de desvio normal, melhor o processo. (DANTAS JÚNIOR *et al.*, 2015).

3.7 SIMULAÇÃO

Atualmente diversos tipos de estudo, viabilidade e planejamento passaram a serem fundamentados a partir de soluções inteligentes e um tanto quanto complexas. Nos mais diversos nichos e cenários busca-se compreender a quantidade correta de insumos e mão de obra, melhor layout, roteiro de fluxo, entre outros. Dessa forma,

busca-se uma idealização de maneira funcional, eficiente e otimizada. Para (OLIVEIRA, 2002) et al. as simulações percorreram um grande histórico de evoluções que permitiram seu aprimoramento para que atualmente, fosse possível contribuir de maneira positiva na idealização e realização de projetos e funcionalidades.

Para que seja possível discorrer a respeito da simulação de projetos, é necessário compreender alguns mecanismos tecnológicos bem como sua funcionalidade, principalmente na engenharia e setores de automação que envolvem a linha de produção. Segundo (COSTA, F. M. d., 2011) o avanço tecnológico foi marcado com o surgimento dos computadores, que foram desenvolvidos na década de 1940, onde apenas dez anos depois, no ano de 1950, foi que de fato começara a ocorrer sua comercialização, simplificando o processo de análise e desenvolvimento de fórmulas matemáticas e outros processos extensos e complicados.

Não resumindo-se a tão somente a simplificação de fórmulas e códigos matemáticos, a computação também permitiu a modelagem de um rol de filas que passaram a serem utilizadas sob a ótica da simulação, encenando o funcionamento real de dado projeto aproximando as expectativas a uma realidade mais evidente. Conforme (CAMPENHOUDT; QUIVY, 2008) com os constantes estudos a respeito dessa evolução, diversos autores da literatura passaram a focar seus esforços em estudos que resultassem em linguagens que permitissem essas simulações, onde apenas em 1960, passaram a surgir de fato.

Para (CAMPENHOUDT; QUIVY, 2008) em 1980, a simulação visual começou a ganhar espaço e uma grande aceitação em decorrência de uma maior capacidade realista a respeito de comunicação e possíveis resultados, expandindo ainda mais a curiosidade sobre essas condutas, bem como o aumento de demanda no mercado. Cursos de graduação das escolas superiores passaram a focar no estudo da técnica da simulação, onde passaram a ganhar grande visibilidade e grande reconhecimento internacional como as linguagens GPSS, GASP, SIMSCRIPT, SIMAN, ARENA, PRO-MODEL, AUTOMOD, TAYLOR, entre outros.

Atualmente, a simulação tem se tornado componente primordial em apresentações e sugestões de projetos e implantação de processo nas mais diversas áreas que consistem desde a cadeia de produção manufaturada à rotina corporativa em escritórios. Filosofias que pregavam que “tudo o que pode ser descrito pode ser simulado” contribuíram de maneira positiva para o aprimoramento e estudo dessa metodologia (COSTA, F. M. d., 2011).

A linha de produção é uma dessas áreas que vem sendo beneficiada com o desempenho das simulações no que tange à modelagem de projetos. Isso porque, (COSTA, F. M. d., 2011) acredita que durante todos esses anos, a globalização vem não só permitindo, mas também influenciando na necessidade de novas ferramentas de trabalho com otimização de tempo e aumento de produtividade. Diante disso, questões

como expansão da linha de produção, automação, inclusão de novos produtos na produção, premeditação de possíveis gargalos na produção, melhoria de controle de estoque, melhoria na política de trabalho, se tornaram identificáveis via software.

Dessa forma, o contexto de simulação está para uma metodologia que viabiliza a solução de problemas por meio de análises de um modelo que busca descrever de maneira comportamental, o sistema por meio de um computador digital. (COSTA, F. M. d., 2011) afirma que as primeiras linguagens de simulação a serem utilizadas e se tornarem popularmente conhecidas foi a FORTRAN e ALGOL em 1950. Todavia, em decorrência da carência de conhecimentos a respeito de seu desenvolvimento e aplicabilidade nem todo e qualquer usuário conseguia realizar sua programação.

Na década seguinte, diante dessa grande desvantagem, passaram a surgir novas linguagens de simulação que passaram a ser baseadas em programas que possuíam partes semelhantes a essas. Nesse passo surgia o GPSS, criado em 1961 a partir de um ensaio em equipe da IBM nos laboratórios BELL. Para (OLIVEIRA, 2002) et al. o GPSS ganhou grande popularidade e tornou-se ícone da simulação, onde durante anos, foi utilizada mundialmente em decorrência da sua facilidade de uso e grande impacto de soluções. Mesmo diante da evolução nas linguagens de simulação, seu avanço não foi breve e inovador em decorrência da carência que existia na tecnologia dos computadores que limitavam seu uso a certos programas bem como, escassez de memória.

A chamada “década do ouro da simulação” surgiu em 1970, (COSTA, F. M. d., 2011) afirma que em virtude da massiva divulgação dessa metodologia a nível mundial. Nesse passo, linguagens como GASP, SIMSCRIPT e EXELSIM passaram a surgir. Nesse momento o desenvolvimento da capacidade desses computadores passou a ser aperfeiçoada, facilitando de maneira brusca a difusão de utilização da simulação. Poucos anos depois, em 1980, a simulação de fato passou a ser veemente explorada, atingindo grande potencial de uso em redes de computadores pessoais, dando origem à “simulação visual”.

De acordo com (OLIVEIRA, 2002) et al. a simulação visual permitiu a inserção de novas habilidades e linguagens de softwares que permitiam sua reprodução, como o ARENA, TAYLOR, PROMODEL, AUDOMOD, e a nova versão do GPSS. Cada um desses softwares busca oferecer uma ferramenta e atender uma demanda específica de acordo com a necessidade do usuário. O próximo tópico buscou abordar as ferramentas e aplicabilidade do ARENA, software que viabilizou o desenvolvimento de análises desse projeto durante todo o seu curso.

3.8 FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO - ARENA

Seguindo a cronologia de evolução das linguagens de softwares, o ARENA foi lançado em 1993 pela empresa norte-americana Systems Modeling, e passou a ocu-

par o pódio de sucessor de programas na mesma empresa como o SIMAN, no qual foi nomeado o primeiro software de simulação para computador. (PRADO; LADEIRA, 2014), com relação ao ARENA, afirma que se trata de uma grande evolução estruturada do GPSS e CINEMA que teve seu desenvolvimento marcado entre os anos de 1982-1984 e passou a condicionar habilidades de animações gráficas. Em decorrência do aperfeiçoamento de ambos, em 1993 os dois sistemas passaram a serem unificados, recebendo o nome de ARENA. Em 1998, a Systems Modeling passou a ser incorporada pela Rockwel Software.

Segundo (CRUZES, s.d.) o ARENA possui um grupo de módulos que permitem sua utilização para que seja possível descrever uma aplicação real. Esses módulos atuam como comandos de uma linguagem de programação como por exemplo de Fortran, Cobol, VB, entre outros. É notório que esses módulos tiveram sua projeção focada na construção de modelos, em contrapartida, o ARENA utiliza uma interface gráfica para seu usuário, também chamada de *Graphical User Interface* (GUI). A interface permite automatização precisa do processo, reduzindo a necessidade de uso de teclado, isso porque, por meio do mouse/cursor é possível realizar toda a projeção, de maneira facilitada.

Conforme (PRADO; LADEIRA, 2014) em vista dos demais softwares, o ARENA também permite o desenvolvimento de modelos de simulação, além de ferramentas úteis como o *Input Analyzer* e o *Output Analyzer*. O *Input Analyzer* trata-se de um analisador de dados de entrada que permite a análise de dados reais do funcionamento do processo bem como a escolha de melhor distribuição estatística; e o *Output Analyzer* é um analisador de resultados que permite a análise de diversos recursos e dados coletados durante a simulação. Dessa forma, essa ferramenta permite não só realizar uma análise gráfica, mas também os recursos a serem efetuados e suas respectivas comparações.

Paralelo à grande gama de outros softwares de simulação, o ARENA permite a visualização do sistema a ser modelo bem como sua constituição em um conjunto de estações de trabalho, que abrangem diversos recursos que auxiliam na prestação de serviços a clientes que são movimentados por meio do sistema. (CRUZES, s.d.) afirmam que essa movimentação pode ocorrer a partir da própria entidade ou por meio de transportadores. Assim, para que seja possível desenvolver um modelo em ARENA, é necessário fornecer algumas informações importantes que ocorrem em cada estação de trabalho ou deslocamento entre as estações, entre outros.

4 ESTUDO DO PROBLEMA

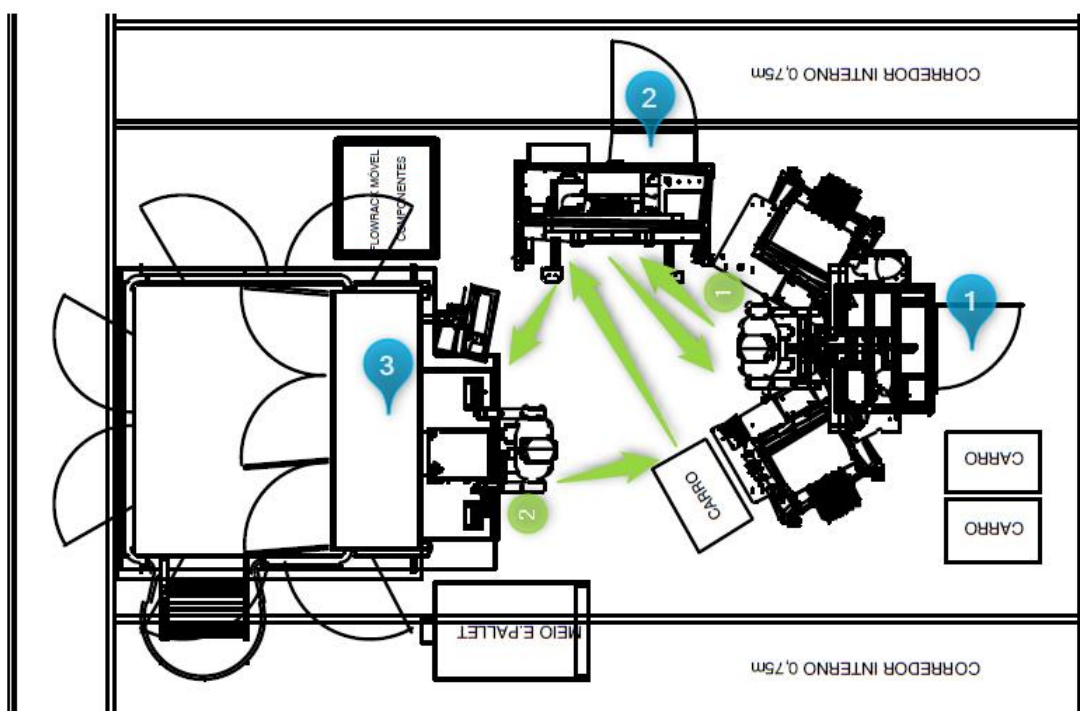
4.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Em decorrência de diversos avanços tecnológicos e conseqüente modificações em questão de prazos, diante de uma grande expansão e motivação econômica, a demanda de mercado tem se tornado um fator um tanto desafiador no que tange a entrega de resultados no processo de produção. A Bosch enfrenta uma grande necessidade de aumento de capacidade produtiva para atender as demandas do mercado.

Atualmente, a linha de montagem final da Válvula A-10 consiste em atividades distribuídas para dois operadores. Através da medição de tempos de produção, percebe-se que o primeiro Operador é o gargalo da produção, pois além de realizar a montagem da válvula, também dispõe a válvula no teste de estanqueidade, tendo assim maior tempo de ciclo do que o Operador 2.

A Figura 10 refere-se ao layout atual, onde é possível observar 3 estações dentro da célula. O Operador 1, trabalha nas estações 1 e 2, e o Operador 2, trabalha nas estações 2 e 3.

Figura 10 – Layout atual da área de montagem final da válvula A-10.



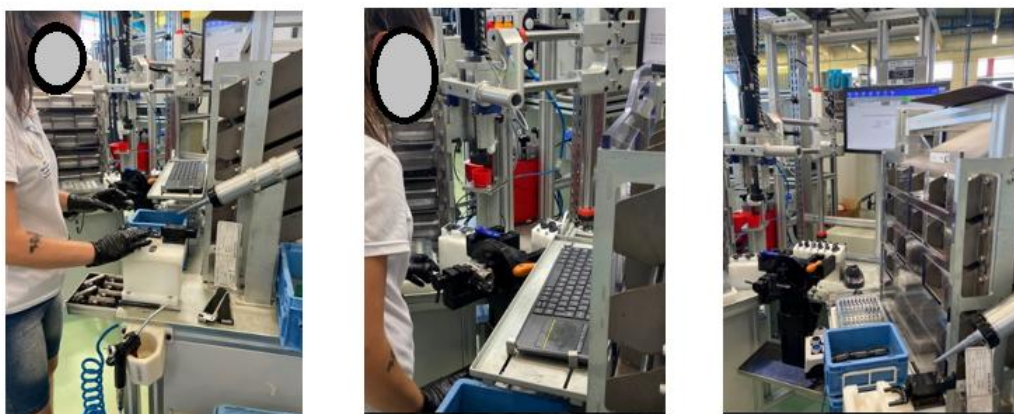
Fonte: Acervo Próprio (2022).

A medida que chega a solicitação de novos pedidos na célula, o Operador 1

busca a válvula usinada no supermercado e em seguida realiza o etiquetamento da peça. Começa então o processo de montagem final da válvula. Durante a montagem, a cada componente, o operador deve apertar o botão conforme é exibido na sequência de fotos da Figura 11. O intuito deste botão é que o operador sempre faça o próximo passo da montagem, para que não haja erros ou falta de componentes na montagem final da válvula.

Após realizada a montagem da válvula, o Operador 1 dispõe a válvula no teste de estanqueidade, na máquina ao lado de sua estação de trabalho, Figura 12. O teste é realizado de maneira automática e quando concluído, o Operador 2 busca a válvula no teste e a leva para a estação de teste final.

Figura 11 – Processo atual de montagem das Válvulas A-10.



Fonte: Acervo Próprio (2022).

Figura 12 – Teste de Estanqueidade e Teste Final da Válvula A-10.



Fonte: Acervo Próprio (2022).

Mediante ao hábito decorrente da frequência da atividade, os operadores passam a exercer sua atividade de maneira 'automática', contribuindo com o surgimento de eventuais erros, isso porque, durante esse processo automático, os operadores costumam não apertar o botão conforme a montagem dos componentes é finalizada, que deveria ser a maneira correta. Atualmente, alguns operadores buscam em uma tentativa falha de otimizar tempo e aumentar produtividade, reduzir o processo, limitando a uma única vez o acionamento do botão, quando terminam de montar a válvula.

A motivação para desenvolvimento desse projeto parte não tão somente da necessidade de fundir princípios metodológicos da manufatura a fim de contribuir com o aumento de receita, decorrente de uma produção levemente acentuada se comparada com os processos antigos, mas também na tentativa de realizar uma distribuição justa de tarefas entre os operadores seguindo uma analogia exata e estatística que permite a economia de tempo a cada montagem e fase de testes, bem como redução de desgaste do operador em um único processo e a diminuição do tempo de ciclo da célula.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

4.2.1 Metodologias Aplicadas

Diante do exposto, sugere-se a modificação do sistema de acionamento manual a fim de eliminar a necessidade de sustentação do acionamento e otimização de tempo de ocupação do Operador 1. Essa sugestão é fundamentada no trabalho padronizado, pois por meio dessa metodologia busca-se contribuir com a estabilidade de melhorias e no desenvolvimento produtivo; *lean six sigma*, pois auxilia na melhoria do desempenho, conforme sugerido anteriormente, reduzindo de maneira sistemática o desperdício de tempo bem como a redução deste; manufatura enxuta, isso porque esta metodologia auxilia na redução de falhas na entrega de produtos aos clientes, tornando-se um ponto chave do objetivo desse trabalho no rol de benefícios para a empresa; e soluções adotadas para construção de simulação, técnica abordada por (BANKS, 2005), ilustrado no Quadro 2 a seguir.

Quadro 2 – Metodologia para Construção do Modelo de Simulação.

	ETAPA	MÉTODO
1	Formulação e Análise do Problema	Fundamentado em detectar o problema, apresentar metodologia e possíveis resultados, restrições, inferências e simplificações.
2	Planejamento do Projeto	Engloba recursos a serem utilizados, cenários de possibilidade, custos e cronograma e gestão de projetos.
3	Formulação do modelo conceitual	Levanta questionamentos e suposições a respeito da elaboração do projeto.
4	Coleta de macro informações e dados	Reúne o máximo de informações sobre o cotidiano na área de trabalho.
5	Tradução do modelo	Compreensão do processo bem como a necessidade de tomadas de decisões conscientes e intencionais a respeito de dado desempenho de tarefa.
6	Verificação e validação	Procedimentos independentes que são aplicados em conjunto para evidenciar se um produto, serviço ou sistema atende aos requisitos e especificações e se cumpre sua finalidade.
7	Projeto experimental final	São trabalhos teórico-práticos desenvolvidos a partir de metodologias científicas específicas que auxiliam na demonstração do nível de conhecimento e a sua capacidade de experimentar, desenvolver e empreender.
8	Experimentação	Manipula e controla diversas variáveis independentes e observa a variação dessas de maneira dependente ou independentes.
9	Interpretação e análise estatística dos resultados	Tradução dos resultados numéricos para a linguagem da área em estudo. Abre um campo para organizar sua própria interpretação face aos seus objetivos de pesquisa e aos resultados estatísticos.
10	Proposição, comparação e seleção da mais adequada alternativa	Avalia a viabilidade de aplicabilidade dos recursos frente ao proposto.
11	Documentação	Apresenta informações importantes como a justificativas de mudanças, objetivo, escopo do projeto, restrições e premissas.
12	Apresentação dos resultados	Motiva os envolvidos e aponta falhas que podem ser reduzidas, pode ser uma oportunidade para alinhar expectativas e necessidades.

Fonte: Acervo Próprio (2022).

As etapas 1 e 2 do Quadro 2, são abordadas até essa seção. Na Seção 4.3 são abordadas as etapas 3 a 8, e as etapas 9 a 12 são discutidas em Análise de Resultados, no Capítulo 5.

4.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Com o objetivo de definir recursos necessários e realizar a análise de desempenho da linha e do novo projeto, foi implementado o sistema de produção de modo a representar o processo existente.

O modelo foi construído no software de simulação ARENA, previamente mencionado. Abaixo tem-se as etapas de criação do modelo.

4.3.1 Formulação do Modelo Conceitual

O primeiro modelo, deve seguir a realidade da fábrica, para que então possam ser realizadas as análises de desempenho e simular cenários com as propostas melhorias. A partir da visita à fábrica e esboços do funcionamento da linha de montagem final, foi possível determinar as principais variáveis do sistema.

Trata-se de um modelo discreto, cujo o sistema é a linha final de montagem do componente produzido. Nessa fase, espera-se que a partir dos relatórios gerados pela simulação, fique nítido de forma gráfica o gargalo da célula e o que pode ser feito para reduzir o tempo de ciclo da linha.

4.3.2 Coleta de Macro informações e Dados

A partir de uma visita in loco à fábrica, foi realizada a coleta de dados através da cronometragem dos tempos de cada operador na célula. A Tabela 1 mostra as médias ponderadas de tempo de produção atuais para cada operador. No APÊNDICE A é possível visualizar as medições e cálculos realizados para esses tempos.

Tabela 1 – Média ponderada do tempo de produção dos Operadores 1 e 2.

	Operador 1	Operador 2
Tempo montagem (s)	166	-
Tempo acionamento botão (s)	36	-
Tempo movimentação (s)	11	-
Tempo teste estanqueidade (s)	-	40
Tempo teste final (s)	-	104
Tempo total (s)	213	144

Fonte: Acervo Próprio (2022).

Foram também coletadas informações necessárias para que posteriormente fosse possível idealizar o orçamento e análise de custo-benefício do projeto, tempo de trabalho disponível e quantidade de válvulas produzidas para que o modelo pudesse ser validado.

A coleta de dados envolve também contato com diversos departamentos como logística, produção, área de controle de custos, arquivos e observações gerais que se façam necessárias para a construção do modelo.

4.3.3 Tradução do Modelo

A tradução do modelo trata-se de colocar no software de simulação o modelo conceitual, considerando os dados coletados até então. São definidas também como serão chamadas as variáveis, para que o usuário que veja o modelo seja capaz de entender cada parte do processo e para aspectos de documentação.

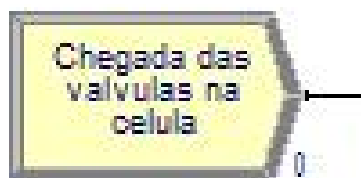
A distribuição dos tempos entrega chegadas no ARENA foram definidas como constantes pois como pode-se verificar no APÊNDICE, já foram calculadas as médias ponderadas dos tempos.

4.3.3.1 Chegada das válvulas no Posto 1 de Montagem Final

Para representar o início da simulação faz-se necessária a inserção do bloco *Create*. Neste bloco as entidades são criadas e é definido o intervalo em que são criadas e o tipo das mesmas.

Na Figura 13 tem-se o bloco *Create*. Na simulação, o bloco representa a chegada das válvulas na estação de montagem final.

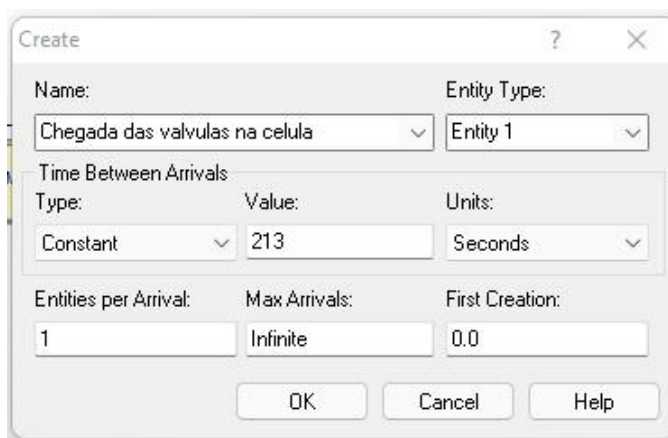
Figura 13 – Bloco *Create* utilizado na simulação.



Fonte: Acervo Próprio (2022).

Embora o processo de lavagem e usinagem da válvula anteceda o processo de montagem final, é importante ressaltar que esses não são considerados neste projeto, uma vez que não afetam o tempo de ciclo da fase de montagem final. É definido então o intervalo em que uma entidade é criada, ou seja, o intervalo em que chega uma nova válvula na célula.

Na Figura 14, tem-se os parâmetros definidos para esse bloco. Como citado anteriormente, o tempo de ciclo do Operador 1 é 213 segundos, então considera-se que a cada ciclo chega uma nova entidade para ele, como pode-se visualizar na Figura 14.

Figura 14 – Parâmetros do bloco *Create*.

Fonte: Acervo Próprio (2022).

4.3.3.2 Montagem da Válvula no Posto 1 e Testes nos Postos 2 e 3

Para essa parte do processo, é utilizado o bloco *Process* do Arena. Os recursos utilizados para montagem, acionamento e testes da válvula são definidos. Esses blocos geralmente possuem ações lógicas que atribuem recursos a determinada seção.

A Figura 15 mostra que em cada etapa do processo de montagem final é adicionado um bloco.

Figura 15 – Tradução da montagem e testes da válvula no software ARENA.



Fonte: Acervo Próprio (2022).

A ação lógica selecionada para essa etapa da simulação é a *"seize delay release"*.

A Figura 16 mostra essa ação para o bloco de montagem: ocorre primeiramente a reserva do recurso atribuído, Operador 1, o processamento de 166 segundos desse recurso, e por último ocorre a liberação da entidade para que a próxima possa ser processada.

Figura 16 – Ação lógica para os blocos Process do modelo - Recurso Operador 1.

The image shows a 'Process' dialog box with the following configuration:

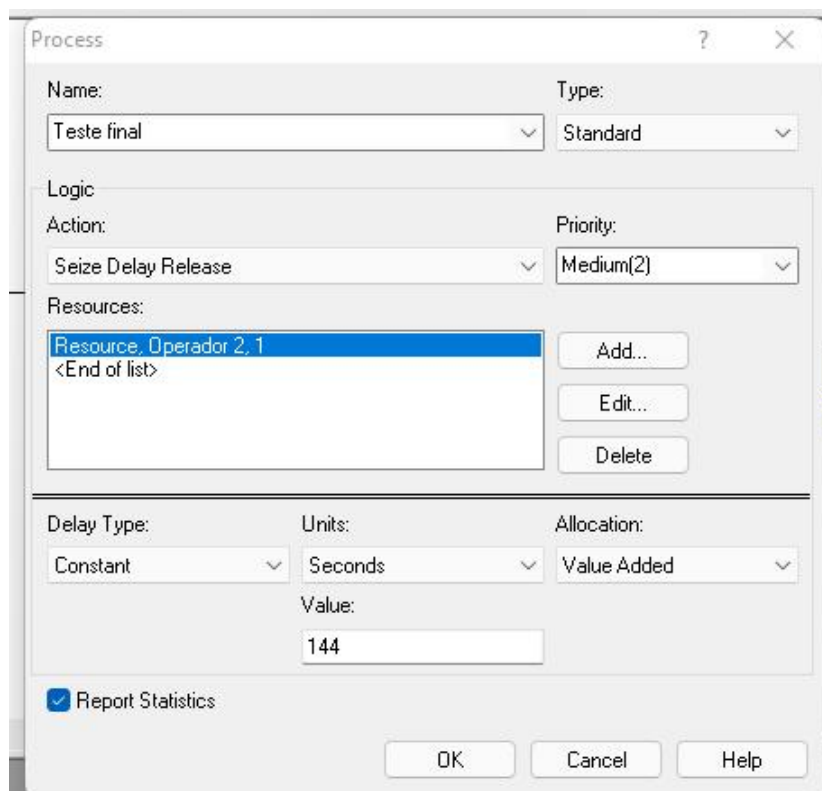
- Name: Montagem
- Type: Standard
- Logic:
 - Action: Seize Delay Release
 - Priority: Medium(2)
- Resources:
 - Resource, Operador 1, 1
 - <End of list>
- Delay Type: Constant
- Units: Seconds
- Allocation: Value Added
- Value: 166
- Report Statistics:

Fonte: Acervo Próprio (2022).

Para os blocos Apertar botão e Tempo movimentação da Figura 15, foi definida a mesma ação lógica e utilizado o mesmo recurso: o Operador 1. Porém, seguindo os tempos definidos na Tabela 1.

O recurso definido para os blocos Teste de Estanqueidade e Teste final passa a ser o Operador 2, como pode-se visualizar na Figura 17.

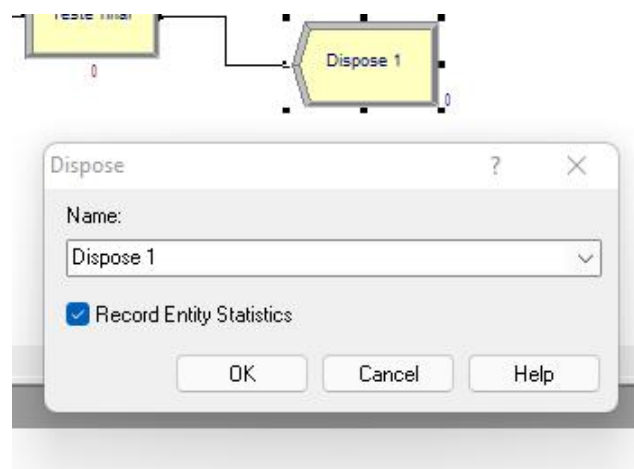
Figura 17 – Ação lógica para os blocos Process do modelo - Recurso Operador 2.



Fonte: Acervo Próprio (2022).

4.3.3.3 Fim do processo de montagem final da válvula

Para determinar o fim do processo de simulação, é necessária a inserção do bloco *Dispose*. Através desse bloco as entidades desaparecem no sistema e o processo acaba. A Figura 18 mostra o bloco *Dispose*, onde pode-se notar que não há nenhum parâmetro a ser preenchido.

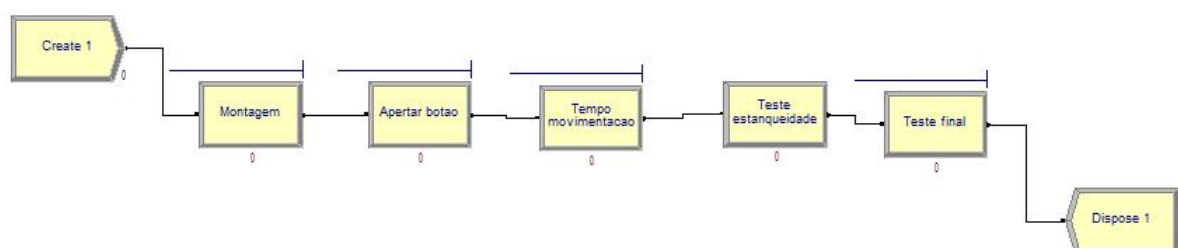
Figura 18 – Bloco *Dispose* no ARENA.

Fonte: Acervo Próprio (2022).

4.3.3.4 Sistema completo de montagem final

A Figura 19 apresenta o sistema completo de montagem final construído. É composto por um bloco *Create*, cinco blocos *Process* e um bloco final *Dispose*.

Figura 19 – Sistema completo de montagem final no ambiente de simulação ARENA.



Fonte: Acervo Próprio (2022).

4.3.4 Verificação e validação do Modelo

Após construído o modelo de simulação, é necessário avaliar se este corresponde ao modelo real existente. Através de 30 replicações de simulação de um dia de produção, seguindo regime de trabalho de dois turnos, foi constatado que o modelo é válido e condiz com valores reais de produção. As informações geradas estão de acordo com os dados recolhidos.

4.3.4.1 OEE da linha

Efetividade Global do Equipamento (OEE) é um indicador muito utilizado nas indústrias de manufatura, pois este aponta o real nível de eficiência dos equipamentos. Segundo (KWON; LEE, 2004), OEE pode ser entendido como uma relação entre o tempo em que houve agregação de valor ao produto e o tempo de carregamento de máquina, ou seja, descontando-se as perdas de disponibilidade, perdas de desempenho e perdas de qualidade.

O cálculo do OEE também pode ser feito pela razão entre o total de produtos bons (A) sobre o produto do tempo de carregamento (B) e a capacidade de produção por hora (C), conforme a Equação 1.

$$OEE = \frac{A}{B \times C}. \quad (1)$$

Atualmente na fábrica já é feita a gestão do OEE da linha, e este valor é aproximadamente 80%. Considerando este OEE, no último ano, a fábrica foi capaz de produzir 190 válvulas por dia. A Figura 20 representa a média de volume produzido em 2021.

Figura 20 – Volume Produzido em 2021



Fonte: Acervo Próprio (2022).

O relatório de simulação do ARENA apresenta a média de válvulas que são produzidas considerando o tempo de ciclo atual do processo, como pode-se visualizar na Figura 21.

Figura 21 – Quantidade diária de válvulas produzidas na simulação



Fonte: Acervo Próprio (2022).

Deve-se ainda considerar que esse não é o valor real produzido, pois no ARENA a simulação trabalha continuamente, sem contabilizar as paradas das máquinas e outros tipos de perdas. A Equação 2 calcula o valor real produzido (VR), multiplicando o *Number Out* que obtém-se na saída do ARENA na Figura 21 por 80% do OEE.

$$VR = 235 \times 0.8 \approx 188. \quad (2)$$

4.3.5 Projeto Experimental Final

Com o modelo validado, foca-se no objetivo da melhoria proposta, reduzir o tempo de ciclo. O projeto busca implantar sensores *pick to light* nas caixas que dispõem os componentes de montagens da válvula. Os sensores, em comunicação com a interface homem- máquina, irão permitir a exibição na monitor para que seja possível acompanhar a próxima etapa. Se o sensor não reconhece que o operador pegou o componente correto, a interface não permite que o funcionário passe para a próxima etapa.

Esses sensores além de otimizarem o tempo de acionamento do botão a cada componente utilizado na montagem, irão permitir a redução de margens de erros decorrente do trabalho robótico e automatizado dos operadores. Ademais, sugere-se também a implementação de uma calha entre o posto de trabalho do Operador 1 e o posto de teste de estanqueidade. Na Figura 22 tem-se um exemplo do sensor *pick to light*.

Figura 22 – Sensor pick to light.



Fonte: Acervo Próprio (2022).

4.3.5.1 Sensores *Pick to Light*

Segundo (CHACKELSON *et al.*, 2013) et al., *pick to light* é uma tecnologia de picking que suporta os sensores com sinais luminosos. É frequentemente aplicada em aplicações de separação de itens, onde os trabalhadores retiram itens de prateleiras ou outros locais de fluxo. Um display com uma luz é anexado a cada local de armazenamento, emitindo sinal de luz quando um produto deve ser retirado do local específico. A quantidade necessária é exibida no display e os operadores confirmam a coleta pressionando um botão. Eles continuam trabalhando em uma montagem até que todas as luzes sejam desligadas, até o que a próxima montagem possa ser iniciada.

Conforme citado por (DE VRIES; DE KOSTER; STAM, 2016) et al. o sistema *pick to light* também pode ser equipado com displays de zona (interface), que mostram exatamente quantos locais um trabalhador ainda precisa se mover em uma determinada zona e quantos itens ainda precisam ser retirados. Os displays são baseados em localização, tornando esta ferramenta mais adequada para ser empregada em uma zona sequencial ou configuração de zona dinâmica para evitar que vários operadores tentem selecionar o mesmo item.

No picking por zona sequencial, a estação é dividida em zonas que são conectadas por meio de buffers ou transportadores. Cada operador está trabalhando em uma determinada zona, transportando um produto para o operador na zona subsequente quando todos os produtos em sua estação são separados, ou quando este é alocado no transportador (CHACKELSON *et al.*, 2013).

A Figura 23 representa a proposta dos sensores.

Figura 23 – Proposta das caixas de componentes com Sensores pick to light.



Fonte: Acervo Próprio (2022).

Por meio da utilização dessa metodologia é possível alcançar uma alta performance desejada quando aplicada em um período de tempo curto, principalmente nesse projeto. Espera-se que esse sistema aponte melhoria na linha de produção, inclusive nos processos de separação que evidenciam erros recorrentes, atenuando-os e auxiliando no aprimoramento da produção. A indicação por meio de luzes permite direcionar o operador para a posição indicada ou próximo item a ser produzido, seguindo e exibindo uma sequência de sinais e quantidade de itens já separados.

Por meio da simulação do projeto, busca-se evidenciar a eficiência de uma calha do modelo *first in first out* (FIFO). Essa calha estará alocada entre as estações do Operador 1 e o Teste de Estanqueidade. A proposta é que o tempo de ciclo do Operador 1 seja reduzido após a montagem da válvula, na qual será comprovado por meio da simulação do projeto.

A inserção da calha para que o Operador 2 a retire e a coloque para testar, se torna viável pois o Operador 2 não é o gargalo da produção, como pode-se visualizar na Figura 24, e possui tempo hábil para realização dessa atividade.

A Figura 24, gerada a partir do relatório de simulação do ARENA, mostra que durante a fase de montagem final do componente, o Operador 1 mantém-se ocupado

100% do tempo, enquanto o Operador 2 fica aproximadamente 33% do seu tempo livre em relação ao Operador 1.

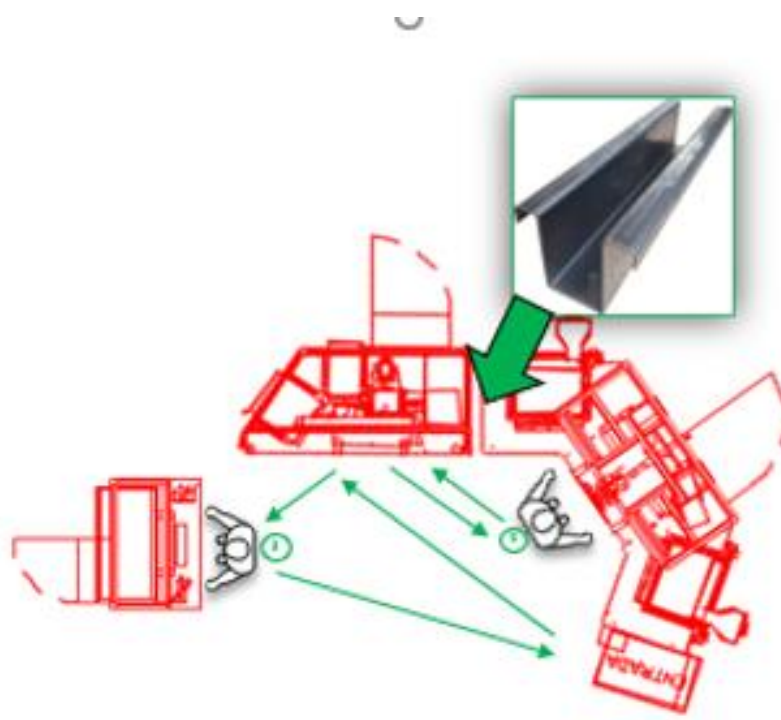
Figura 24 – Gráfico de ocupação Operadores 1 e 2.



Fonte: Acervo Próprio (2022).

A proposta do modelo pode ser visualizada na Figura 25. Nesta representação, o projeto é que o Operador 1 apenas disponha a válvula na calha, e o Operador 2 a recolha, coloque na máquina do teste de estanqueidade e depois realize teste final.

Figura 25 – Novo layout proposto.



Fonte: Acervo Próprio (2022).

O modelo FIFO do inglês *first in, first out*, trata-se de um conceito – se traduzido para o português – “o primeiro que chega, é o primeiro que sai” ou seja, diz respeito ao primeiro produto a entrar no estoque, seja o primeiro a sair, minimizando o tempo de permanência na linha de produção ou estoque. É proposta então a inserção da desta calha.

Esse modelo auxilia para que os primeiros lotes ou unidades de produtos saiam conforme a ordem de chegada ao estoque, ou seja, de maneira cronológica, além de auxiliar e viabilizar o processo de produção.

4.3.6 Experimentação

Com o projeto proposto, faz-se novamente as simulações, agora com as melhorias propostas. Em termos de simulação, o bloco “Apertar Botão” é removido, pois agora há a inserção dos sensores nas caixas de componentes. Com a inserção da calha entre a estação do Operador 1 e a estação de teste, pode-se remover também o bloco “Tempo de movimentação”. O novo modelo no ARENA é representado na Figura 26.

Figura 26 – Modelo proposto ARENA.



Fonte: Acervo Próprio (2022).

Novamente são simuladas 30 replicações de 1 dia de produção, com dois turnos. Os resultados são apresentados e discutidos no Capítulo 5.

5 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS - ENSAIO DE MELHORIAS

Para a conclusão da avaliação de desempenho do processo atual e do projeto proposto, foi realizada a interpretação dos resultados obtidos no ARENA, levantando orçamento de custo do projeto para analisar sua viabilidade e então definindo se a proposta seria a melhor alternativa.

5.1 INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Com o objetivo de se verificar se o modelo de simulação criado traduz de uma forma transparente a situação real da célula de produção, foi realizada a validação na seção 4.3.4 e agora pode-se analisar se o projeto proposto apresenta melhorias significativas para a empresa.

5.1.1 Redução do tempo de ciclo da célula

A Tabela 2 apresenta o tempo de ciclo atual da célula, e o tempo de ciclo futuro (com a implementação da melhoria proposta).

Tabela 2 – Tempo de ciclo da célula em segundos.

Tempo de ciclo atual (s)	Tempo de ciclo com a melhoria proposta (s)
213	166

Fonte: Acervo Próprio (2022).

Pode-se verificar que com a implementação da melhoria proposta, há uma redução de 22% no tempo de ciclo de operação da célula de produção. Com a redução do tempo de ciclo, há conseqüentemente, um aumento na capacidade produção, sendo esse, de 26%.

A redução significativa no tempo de ciclo da célula explica-se pois o Operador 1 é o gargalo da produção, possuindo o maior tempo de operação. Uma vez que o tempo de operação seja minimizado, o tempo de ciclo é reduzido e a capacidade de produção será aumentada.

5.1.2 Redução do tempo de ociosidade do Operador 2

A partir do relatório de simulação obtido no ARENA, verifica-se que a ociosidade do Operador 2 também foi reduzida, como pode-se verificar na Figura 27.

Figura 27 – Gráfico de ocupação dos Operadores 1 e 2 com a melhoria proposta.



Fonte: Acervo Próprio (2022).

5.1.3 Orçamento do Projeto

Foi realizado o orçamento da implementação deste projeto, para que na Seção 5.1.4 pode ser possível realizar a análise de custo benefício do mesmo.

Atualmente são utilizadas 23 caixas de componentese, a calha a ser inserida, o que correspondem as quantidades na Tabela 3.

Tabela 3 – Orçamento para implantação do projeto.

Produto	Quantidade	Valor Unitário	Valor total
Sensor fotoelétrico	23	R\$ 2.165,00	R\$ 49.795,00
Fita prismática	23	R\$ 304,00	R\$ 6.992,00
Cabo M12	23	R\$ 49,20	R\$ 1.131,60
Calha de Aço Galvanizado	1	R\$ 70,20	R\$ 1.131,60
Valor total produtos	-	-	R\$ 57.918,60
Instalação Elétrica	23	R\$ 430,00	R\$ 9.890,00
Alteração software	-	-	R\$ 2.171,00
Valor total Mão de Obra	-	-	R\$ 12.082,00
Valor total Implementação do projeto	-	-	R\$ 70.000,60

Fonte: Acervo Próprio (2022).

5.1.4 Análise de custo benefício

A Figura 28 apresenta os custos fixos e variáveis para produção da válvula.

Comparando o custo unitário total para a produção de uma válvula de acordo com o tempo de ciclo atual e com o tempo de ciclo proposto, observa-se que há uma redução de 2,50 reais para cada válvula produzida.

Figura 28 – Análise de custo benéfico.

		BRL					
	Tempo de ciclo montagem final (min)	Minutos disponíveis Dia	Peças dia	Peças ano	Custo var unit	Custo fixo unit	Custo unit. Total
Tempo atual	3,55	840	189	47.324	7,69	3,55	11,24
Tempo proposta melhoria	2,76	840	243	60.870	5,98	2,76	8,74
				Delta custo por peça BRL	2,50		
				Delta volume de peças	14.000,00		
				Delta volume custos BRL	35.023,33		

Fonte: Acervo Próprio (2022).

O delta volume de peças produzidas anualmente com a melhoria implantada é aproximadamente 14.000 peças, portanto, a redução de custos por volume é de R\$ 35.000,00.

5.1.4.1 Retorno de investimento

Considerando o valor de investimento (O) e a redução de custos de produção por volume anual (V), pode-se calcular em quanto tempo o investimento teria se pago (PP) (*payback payment*) sem que haja acréscimo no valor de custo da válvula, que pode ser obtido através da Equação 3.

$$PP = \frac{O}{V} = \frac{R\$70.000,06}{R\$35.000,00} \approx 2 \text{ anos.} \quad (3)$$

Conclui-se então que o retorno de investimento do projeto é de aproximadamente 24 meses.

5.2 PROPOSIÇÃO E COMPARAÇÃO DA MAIS ADEQUADA ALTERNATIVA

Com base nas análises realizadas no decorrer do desenvolvimento desse projeto, conclui-se que existe viabilidade quanto ao investimento nessa proposta. Isso constata-se através da análise orçamentária que indica retorno financeiro a partir do 24 mês.

Diante disso, nota-se com base nos dados estatísticos fundamentados na simulação, que o tempo de ciclo reduzido resultou em um total de 22% de otimização, na qual contribuiu para um aumento de produção anual em um volume total de 14.000 peças. Portanto, nota-se que a proposta não resume-se apenas à projeção de redução de tempo de ciclo do gargalo da produção, mas elucida esse rol de utilidades de produtividade bem como aumento de receita para a empresa.

Pode-se analisar também que, além destes parâmetros, há parâmetros de qualidade que serão aperfeiçoados, pois uma vez que implementados os sensores, não

haverá mais a possibilidade do Operador colocar o componente errado na montagem da válvula, reduzindo assim o tempo de retrabalho das peças.

6 CONCLUSÕES

O exercício da atividade industrial bem como os seus fatores que determinam sua solidez a longo prazo, está totalmente vinculada à capacidade de aprimorar o retorno de investimento por meio de uma vantagem competitiva, na qual só é possível através do posicionamento de estratégias que estão associadas à liderança de custos. Diante do exposto, nota-se que as simulações não só permitem uma projeção prática de propostas, mas também contribuem para uma vasta análise que tange o estudo de viabilidade e planejamento, evidenciando sobretudo o controle e utilização adequada de insumos e divisão de mão de obra.

Frente ao desenvolvimento tecnológico e conseqüente redução de tempo em questão de entrega final, em virtude da atividade de maquinário e metodologias tecnológicas, surge uma grande motivação econômica e conseqüente demanda de expansão. Nesse cenário, a Bosch passa a apresentar a grande necessidade de expandir sua capacidade produtiva para que seja possível atender as demandas do mercado.

Tendo em vista que a atual linha de montagem final das válvulas A-10 demanda da atividade de dois operadores, visto que o primeiro operador é o gargalo da produção, pois a maior parte do processo concentra-se com esse operador, ao passo que o operador dois tem um maior tempo hábil que não é bem distribuído para suas atividades. Buscou-se por meio desse projeto, reestruturar o processo de montagem final, onde por meio de metodologias como produtividade, manufatura enxuta, mensuração de tempos e métodos e método para construção de modelo de simulação foi possível avaliar uma proposta de redução de tempo de ciclo na célula de produção.

A análise quantitativa mediada pelo software ARENA, permitiu obter resultados tais como relatórios de produtos produzidos e tempo de ociosidade dos operadores. A avaliação de utilização dos tempos desses operadores foi iniciada a partir da análise de desempenho do processo atual, onde por meio da ferramenta foi possível demonstrar o real comportamento da célula de produção. Portanto, pode-se demonstrar que com a simulação computacional, é possível realizar o balanceamento dos recursos e entender de forma sistêmica todo o processo produtivo e suas restrições. Concluindo a proposta sugerida por meio de objetivos, visto que foi possível elucidar uma proposta de modelo para redução do tempo de ciclo da célula.

Quanto à relevância da aplicabilidade dessa proposta, esta é notada a partir da sua melhoria significativa em 22% de redução do tempo de ciclo. Ademais, foi possível comparar os resultados obtidos por meio do sistema bem como layout sugerido, com o sistema e layout de produção atual, evidenciando de maneira mais realista a necessidade de implantação.

Este trabalho deixa como contribuição a conclusão de que através de simulações é possível obter resultados reais de redução de tempo de ciclo, de um sistema já

existente quando integrado a metodologias de sistemas de produção e assim, ter um melhor entendimento das variabilidades dos processos.

Todavia, sua implementação real não foi realizada em decorrência do tempo de realização curto, entretanto a utilização da sistemática de simulação objetiva a confirmação de resultados e garante a melhoria contínua do processo.

Sugere-se que outras propostas do mesmo modelo apresentado, sejam realizadas para os demais setores de produção da válvula, englobando todo o processo desde seu começo. Com o objetivo de reduzir custos, otimizar tempo, distribuir de maneira estratégica as tarefas desempenhadas pelos colaboradores e consequentemente minimizar de erros e desperdícios, compactuando assim com o aumento de produtividade, demanda de mercado atendida, melhor performance e maior margem de lucratividade.

REFERÊNCIAS

- ADE, Manoj; DESHPANDE, VS. Lean manufacturing and productivity improvement in coal mining industry. **International Journal of Engineering Research and Development**, Citeseer, v. 2, n. 10, p. 35–43, 2012.
- ALDRIGHI, Dante Mendes; COLISTETE, Renato Perim. Industrial Growth and Structural Change. **Structural change and industrial development in the BRICS**, Oxford University Press, USA, v. 162, 2015.
- ALMEIDA, D de; FERREIRA, J. Analysis of the methods time measurement (MTM) methodology through its application in manufacturing companies. **Flexible Automation and Intelligent Manufacturing**, v. 1, p. 2–9, 2009.
- ALUKAL, George; MANOS, Anthony. **Lean Kaizen: a simplified approach to process improvements**. [S.l.]: Quality Press, 2006.
- ANTONY, Jiju. Six Sigma vs Lean: Some perspectives from leading academics and practitioners. **International Journal of Productivity and Performance Management**, Emerald Group Publishing Limited, 2011.
- BANKS, Jerry. **Discrete event system simulation**. [S.l.]: Pearson Education India, 2005.
- BENEŠOVÁ, Andrea; TUPA, Jiří. Requirements for education and qualification of people in Industry 4.0. **Procedia manufacturing**, Elsevier, v. 11, p. 2195–2202, 2017.
- BINNINGER, Marco; DLOUHY, Janosch; HAGSHENO, Shervin. Technical takt planning and takt control in construction. *In*: 09. 25TH annual conference of the international group for lean construction. [S.l.: s.n.], 2017. P. 2017.
- BOSCH. [S.l.: s.n.], 2014.
- BOSCH. [S.l.: s.n.], 2022.
- BOSCH. [S.l.: s.n.], 2022.
- BOSSERT, James. Lean and Six Sigma-synergy made in heaven. **Quality Progress**, American Society for Quality, v. 36, n. 7, p. 31, 2003.

CAKMAKCI, Mehmet; KARASU, Mahmut Kemal. Set-up time reduction process and integrated predetermined time system MTM-UAS: A study of application in a large size company of automobile industry. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Springer, v. 33, n. 3, p. 334–344, 2007.

CAMPENHOUDT, Luc Van; QUIVY, Raymond. Manual de investigação em ciências sociais. **Gradiva Publicações**, 2008.

CARVALHO, Marly Monteiro de; ROTONDARO, Roberto Gilioli; MENDES, Maria Elizabete; SUMITA, Nairo Massakazu. Implementação de seis sigma no setor de saúde pública: uma abordagem de pesquisa-ação. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção–Rio de Janeiro, RJ, Brasil**, 2008.

CHACKELSON, Claudia; ERRASTI, Ander; CIPRÉS, David; LAHOZ, Fernando. Evaluating order picking performance trade-offs by configuring main operating strategies in a retail distributor: A Design of Experiments approach. **International Journal of Production Research**, Taylor & Francis, v. 51, n. 20, p. 6097–6109, 2013.

COSTA, Filipe Martins da. **Construção de modelo de simulação de sistema puxado de produção para melhorias de eficiência**. 2011. Tese (Doutorado).

COSTA, Isabele Morais; LISBOA, Stella Neves Duarte; SANTOS, Talita Pitanga. Automação industrial. **Natal: UFRN**, 2002.

CRUZES, FATEC MOGI DAS. SIMULAÇÃO COM O SOFTWARE ARENA EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE CALÇADOS: ANÁLISE DE CENÁRIOS E SUGESTÕES DE MELHORIAS.

DANTAS JÚNIOR, Claudio Pereira *et al.* A METODOLOGIA SEIS SIGMA E AS ÁREAS DE APLICAÇÃO, 2015.

DE VRIES, Jelle; DE KOSTER, Rene; STAM, Daan. Exploring the role of picker personality in predicting picking performance with pick by voice, pick to light and RF-terminal picking. **International Journal of Production Research**, Taylor & Francis, v. 54, n. 8, p. 2260–2274, 2016.

DUGGAN, Kevin J. **Creating mixed model value streams: practical lean techniques for building to demand**. [S.l.]: CRC Press, 2018.

FRANDSON, Adam; BERGHEDE, Klas; TOMMELEIN, Iris D. Takt time planning for construction of exterior cladding. *In*: CITESEER. 21ST Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Fortaleza, Brazil. [S.l.: s.n.], 2013. P. 21–2.

HUNTZINGER, Jim. Why standard work is not standard: training within industry provides an answer. **Target**, v. 22, n. 4, p. 7–13, 2006.

JACINTO, Paulo de Andrade; RIBEIRO, Eduardo Pontual. Crescimento da produtividade no setor de serviços e da indústria no Brasil: dinâmica e heterogeneidade. **Economia Aplicada**, SciELO Brasil, v. 19, n. 3, p. 401–427, 2015.

KUPFER, David; ROCHA, Federico. Productividad y heterogeneidad estructural en la industria brasileña. **En: Heterogeneidad estructural, asimetrías tecnológicas y crecimiento en América Latina-LC/W. 35-2005-p. 72-100**, 2005.

KWON, Ohwoon; LEE, Hongchul. Calculation methodology for contributive managerial effect by OEE as a result of TPM activities. **Journal of quality in Maintenance Engineering**, Emerald Group Publishing Limited, 2004.

LAZZAROTTO, Evandro. O desempenho da manufatura enxuta: o caso da empresa Ognibene, nas unidades de Caxias do Sul-Brasil e Reggio Emilia-Itália, 2015.

LÉXICO, LEAN. Glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean. **The Lean Enterprise Institute**, p. 98, 2003.

LIKER, Jeffrey K; MEIER, David. **O modelo Toyota-manual de aplicação: um guia prático para a implementação dos 4Ps da Toyota**. [S.l.]: Bookman Editora, 2007.

MACEDO, Marcelo; POSSAMAI, Edson. Impactos da implementação do lean manufacturing na obtenção de vantagem competitiva: Um estudo de casos múltiplos. **Revista Gestão Industrial**, v. 9, n. 2, 2013.

MAITELLI, AL. Apostila de Controladores Lógicos Programáveis. UFRN, Natal. **RN**, 2003.

MARCHWINSKI, Chet; SHOOK, John. **Léxico Lean: glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean**. [S.l.]: Lean Institute Brasil, 2003.

NARUSAWA, Toshiko; SHOOK, John. Kaizen Express: Fundamentos para a sua jornada lean. **São Paulo: Lean Institute Brasil**, 2009.

OLIVEIRA, V F. **Arquitetura fieldbus para Redes Industriais**. [S.l.: s.n.], 2002.

PANDE, P; HOLPP, L. **What Is Six Sigma?(Vol. 16, p. 98)**. [S.l.]: McGraw Hill Professional, 2001.

PANDE, P; NEUMAN, R; CAVANAGH, R. Estratégia Seis Sigma: como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão a melhorar o seu desempenho. **Rio de Janeiro: Qualitymark**, v. 16, p. 17, 2001.

PAUL, ID; Bhole, GP; CHAUDHARI, JR. A review on green manufacturing: it's important, methodology and its application. **Procedia materials science**, Elsevier, v. 6, p. 1644–1649, 2014.

PORCILE, Gabriel; HOLLAND, Márcio. Brecha tecnológica y crecimiento en América Latina. **En: Heterogeneidad estructural, asimetrías tecnológicas y crecimiento en América Latina-LC/W. 35-2005-p. 40-71**, 2005.

PRADO, Darci; LADEIRA, Fernando. **Planejamento e controle de projetos**. [S.l.]: Falconi Editora, 2014. v. 2.

RAMAMOORTHY, Selladurai. Economical growth in pump manufacturing industries through lean manufacturing system using brainstorming technique: A case study. **International Journal of Advanced Economics and Business Management**, v. 2, n. 1, p. 1–8, 2011.

RAMEEZ, Hudli Mohd; INAMDAR, KH. Areas of lean manufacturing for productivity improvement in a manufacturing unit. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, Citeseer, v. 45, p. 584–587, 2010.

RITZMAN, LP; KRAJEWSKI, LJ. **Production management and operations**. [S.l.]: São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

ROCHA, Frederico. Produtividade do trabalho e mudança estrutural nas indústrias brasileiras extrativa e de transformação, 1970-2001. **Brazilian Journal of Political Economy**, SciELO Brasil, v. 27, n. 2, p. 221–241, 2007.

ROTHER, Mike; HARRIS, Rick. **Criando fluxo contínuo: um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção**. [S.l.]: Lean Institute Brasil São Paulo, 2002.

ROTHER, Mike; SHOOK, John. **Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda**. [S.l.]: Lean Enterprise Institute, 2003.

SMALLEY, Art. Conectando a Montagem aos Processos em Lotes através de Sistemas Puxados Básicos. **Lean Institute Brasil. Artigo disponível em <http://www.lean.org.br>**, 2005.

SNEE, Ronald D; HOERL, Roger W. Integrating lean and Six Sigma-a holistic approach. *In*: ASQ, 3. SIX Sigma Forum Magazine. [S.l.: s.n.], 2007.

TEIXEIRA, FILHO Jayme. Gerenciando conhecimento. **Rio de Janeiro: SENAC**, 2000.

APÊNDICE A – TEMPOS CRONOMETRADOS DE OPERAÇÃO

Figura 29 – Tempos de operação célula de montagem final.

PN montado	Pré-montagem Posto 1					Montagem Posto 2					Testes pneum. e hidr. Postos 3 e 4					
	tgB (min)	tgB (min)	tvB%	teB pond.	teB +20% (min)	tgB (min)	tgB (min)	tvB%	teB pond.	teB +20% (min)	tgB (min)	tgB (min)	tvB%	teB pond.	teB (min)	teB +20% (min)
R902456116	0.35	0.00	10.0%	0.39	0.00	0.46	1.48	0.00	1.62	0.00	1.95	2.08	0.00	2.29	0.00	2.75
R902453110	0.35	0.00	10.0%	0.39	0.00	0.46	1.48	0.00	1.62	0.00	1.95	2.08	0.00	2.29	0.00	2.75
R902542781	0.61	0.23	10.0%	0.67	0.25	0.81	2.18	0.82	2.40	0.91	2.87	2.19	0.83	2.40	0.91	2.88
R902489652	0.61	0.01	10.0%	0.67	0.01	0.81	2.18	0.04	2.40	0.05	2.87	2.19	0.04	2.40	0.05	2.88
R902455606	0.61	0.06	10.0%	0.67	0.06	0.81	2.79	0.26	3.09	0.29	3.68	2.19	0.21	2.40	0.23	2.88
R902455600	0.61	0.00	10.0%	0.67	0.01	0.81	2.81	0.02	3.09	0.02	3.71	2.19	0.02	2.40	0.02	2.88
R902456193	0.61	0.00	10.0%	0.67	0.00	0.81	2.83	0.01	3.11	0.01	3.74	2.19	0.01	2.40	0.01	2.88
R902453432	0.61	0.00	10.0%	0.67	0.00	0.81	2.57	0.00	2.82	0.00	3.39	2.19	0.00	2.40	0.00	2.88
R902456355	0.61	0.00	10.0%	0.67	0.00	0.81	2.57	0.00	2.82	0.00	3.39	2.19	0.00	2.40	0.00	2.88
R902531826	0.61	0.00	10.0%	0.67	0.00	0.81	2.57	0.00	2.82	0.00	3.39	2.19	0.00	2.40	0.00	2.88
R902449481	0.61	0.00	10.0%	0.67	0.00	0.81	2.57	0.00	2.82	0.00	3.39	2.19	0.00	2.40	0.00	2.88
R902461261	0.61	0.00	10.0%	0.67	0.00	0.81	2.57	0.00	2.82	0.00	3.39	2.19	0.00	2.40	0.00	2.88
R902474554	0.61	0.05	10.0%	0.67	0.05	0.81	2.57	0.20	2.82	0.22	3.39	2.19	0.17	2.40	0.19	2.88
R902496231	0.61	0.01	10.0%	0.67	0.01	0.81	2.57	0.03	2.82	0.03	3.39	2.19	0.03	2.40	0.03	2.88
R902472496	0.61	0.01	10.0%	0.67	0.01	0.81	2.57	0.04	2.82	0.05	3.39	2.19	0.04	2.40	0.04	2.88
R902451762	0.61	0.00	10.0%	0.67	0.00	0.81	2.21	0.01	2.43	0.02	2.92	2.19	0.01	2.40	0.02	2.88
R902448799	0.61	0.00	10.0%	0.67	0.00	0.81	2.21	0.00	2.43	0.00	2.92	2.19	0.00	2.40	0.00	2.88
R902472652	0.61	0.06	10.0%	0.67	0.06	0.81	2.21	0.20	2.43	0.22	2.92	2.19	0.20	2.40	0.22	2.88
R902543755	0.61	0.00	10.0%	0.67	0.00	0.81	2.55	0.00	2.80	0.00	3.36	2.19	0.00	2.40	0.00	2.88
R902449462	0.61	0.00	10.0%	0.67	0.00	0.81	2.55	0.00	2.80	0.00	3.36	2.19	0.00	2.40	0.00	2.88
R902449490	0.61	0.00	10.0%	0.67	0.00	0.81	2.55	0.00	2.80	0.00	3.36	2.19	0.00	2.40	0.00	2.88
R902468783	0.61	0.00	10.0%	0.67	0.00	0.81	2.53	0.00	2.78	0.00	3.34	2.19	0.00	2.40	0.00	2.88
R902460637	0.61	0.00	10.0%	0.67	0.00	0.81	2.53	0.00	2.78	0.00	3.34	2.19	0.00	2.40	0.00	2.88
R902452069	0.61	0.00	10.0%	0.67	0.00	0.81	2.53	0.00	2.78	0.00	3.34	2.19	0.00	2.40	0.00	2.88
R902533302	0.61	0.04	10.0%	0.67	0.05	0.81	2.53	0.18	2.78	0.20	3.34	2.19	0.15	2.40	0.17	2.88
R902535903	0.61	0.06	10.0%	0.67	0.06	0.81	2.53	0.24	2.78	0.26	3.34	2.19	0.21	2.40	0.23	2.88
R902449484	0.61	0.00	10.0%	0.67	0.00	0.81	2.20	0.00	2.42	0.00	2.90	2.19	0.00	2.40	0.00	2.88
R902532996	0.61	0.02	10.0%	0.67	0.02	0.81	2.20	0.06	2.42	0.06	2.90	2.19	0.06	2.40	0.06	2.88
R902533947	0.61	0.04	10.0%	0.67	0.05	0.81	2.20	0.16	2.42	0.17	2.90	2.19	0.16	2.40	0.17	2.88
R902470582	0.61	0.01	10.0%	0.67	0.01	0.81	2.20	0.03	2.42	0.03	2.90	2.19	0.03	2.40	0.03	2.88

2.40

2.18

2.66

2.35

0.67

0.61