

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE GESTÃO E ECONOMIA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA PRODUÇÃO

JOSIAS RIBEIRO DE ALMEIDA

**IMPLANTAÇÃO DE TABLET PARA TESTES EM PAINÉIS ELÉTRICOS COM CLP
E REDES DE COMUNICAÇÃO, COM FOCO NO AUMENTO DA PRODUTIVIDADE
UTILIZANDO FERRAMENTAS DE MELHORIA CONTÍNUA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2020

JOSIAS RIBEIRO DE ALMEIDA

**IMPLANTAÇÃO DE TABLET PARA TESTES EM PAINÉIS ELÉTRICOS COM CLP
E REDES DE COMUNICAÇÃO, COM FOCO NO AUMENTO DA PRODUTIVIDADE
UTILIZANDO FERRAMENTAS DE MELHORIA CONTÍNUA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia da Produção.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Tadeu Gonçalves Muniz

CURITIBA

2020

TERMO DE APROVAÇÃO

IMPLANTAÇÃO DE TABLET PARA TESTES EM PAINÉIS ELÉTRICOS COM CLP E REDES DE COMUNICAÇÃO, COM FOCO NO AUMENTO DA PRODUTIVIDADE UTILIZANDO FERRAMENTAS DE MELHORIA CONTÍNUA

Esta monografia foi apresentada no dia 31 de outubro de 2020, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia da Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato Josias Ribeiro de Almeida apresentou o trabalho para a Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após a deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Dr. Sergio Tadeu Gonçalves Muniz
Orientador

Msc. Sérgio Zagonel
Banca

Msc. Egon Bianchini Calderari
Banca

Dra. Luciana Vieira de Lima
Banca

Visto da coordenação:

Prof. Dr. Paulo Daniel Batista de Sousa

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

Dedico este trabalho a as pessoas que de um jeito ou outro contribuíram para a realização do mesmo, de modo especial a minha esposa Deise Tecila de Almeida e meu filho Vitor Miguel de Almeida que sempre estão no meu coração e em minhas orações.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por tudo o que ele tem feito por mim e por minha família.

Agradeço a minha família, em especial minha esposa e meu filho pela compreensão e incentivo, aos meus pais por terem me hospedado com muito carinho e amor durante os dias de curso.

Agradeço à empresa WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A. pela oportunidade de desenvolvimento profissional, ao qual pretendo retribuir com os conhecimentos adquiridos.

Agradeço aos meus colegas de curso pelo companheirismo e amizade que ficarão para a vida toda.

Agradeço ao colaborador Luís Otavio R. B. Filho que, com tanta engenhosidade, abraçou a causa junto à equipe de *Kaizen*.

“Aquele da habita no esconderijo do
altíssimo na sombra do onipotente
descansará.”
(Salmos91:1)

RESUMO

ALMEIDA, Josias Ribeiro de. **Implantação de tablet para testes em painéis elétricos com CLP e redes de comunicação, com foco no aumento da produtividade utilizando ferramentas de melhoria contínua.** 2020. 35 f. Monografia (Especialização em Engenharia da Produção) – Departamento de Gestão e Economia – DAGEE, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

O conceito de melhoria contínua tem guiado as empresas nos últimos anos, fazendo com que sejam mais competitivas, diminuindo os custos de fabricação. As empresas têm buscado cada vez mais soluções automatizadas em seus processos, desenvolvendo aplicações na área de tecnologia e automação industrial para melhorar seus processos e, conseqüentemente, seus resultados. O KAIZEN tem sido uma ferramenta importante para as organizações. Nesta linha, este trabalho tem por objetivo apresentar os resultados na área de testes de painéis da WEG AUTOMAÇÃO em Itajaí/SC, identificar outras aplicações, testar mais soluções e propor melhorias na linha são os objetos deste trabalho. Para que este trabalho fosse viabilizado foram realizadas análises dos processos no intervalo de 03/2019 a 12/2019. Durante o desenvolvimento do trabalho foram identificadas diversas oportunidades de melhoria no processo, os quais serviram como base para a realização de vários testes práticos e simulações no fluxo de produção. Através destes experimentos foi possível determinar as melhores opções para se eliminar tais desperdícios. Através de cronoanálise foi observada a perda por deslocamento e por inabilidade, nem todos os técnicos conseguem executar uma aplicação de *software* que não estejam padronizados. Resolvidas as questões de perdas por deslocamento e inabilidade foi possível atualizar os roteiros de testes para os produtos padronizados, multiplicando a redução do tempo de roteiro pelos custos agregados (custos fixos + custos variáveis), podendo-se calcular os ganhos.

Palavras-chave: *Kaizen*. Melhoria contínua. *Tablet*.

ABSTRACT

ALMEIDA, Josias Ribeiro de. **Implementation of tablets for tests on electrical panels with PLC and communication networks, focusing without increasing productivity using tools for continuous improvement.** 2020. 35 f. Monograph (Specialization in Production Engineering) - Department of Management and Economics - DAGEE, Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2020.

The concept of continuous improvement has guided companies in recent years, making them more competitive, lowering manufacturing costs. Companies are increasingly looking for automated solutions in their processes, developing applications in the area of technology and industrial automation to improve their processes and, consequently, their results. KAIZEN has been an important tool for associations. In this line, this work aims to present the results in the panel testing area of WEG AUTOMAÇÃO in Itajaí / SC, to identify other applications, to test more solutions and to propose improvements in the line are the objects of this work. In order for this work to be feasible, process analyzes were analyzed in the range from 03/2019 to 12/2019. During the development of the work, several opportunities for improvement in the process were identified, which served as the basis for carrying out several practical tests and simulations in the production flow. Through these experiments it was possible to determine how best options to eliminate such waste. Through chronoanalysis, a loss due to displacement and disability was observed, not all technicians were able to carry out a software application that did not select standardized ones. Once the losses of losses due to displacement and disability were solved, it was possible to update the test scripts for standardized products, multiplying the reduction in the routing time by the aggregate costs (fixed costs + variable costs), being able to calculate the gains

Keywords: Kaizen. Improvement continues. Tablet.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – <i>Layout</i> da Linha de Produção	25
Figura 2 – Mesa de Redes	26
Figura 3 – Arquitetura de Rede	28
Figura 4 – Motor Acionado por Inversor de Frequência	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custo da Operação	30
Tabela 2 – Cliente A: Processo Anterior	30
Tabela 3 – Cliente B: Processo Anterior	30
Tabela 4 – Cliente A: Processo Atual	31
Tabela 5 – Cliente B: Processo Atual	31
Tabela 6 – Cliente C: Processo Anterior	32
Tabela 7 – Cliente C: Roteiros Corrigidos para Fabricação	32

LISTA DE SIGLAS

CFW	Conversores de Frequência WEG
CLP	Controlador Lógico Programável
IHM	Interface Homem/Máquina
MFV	Mapeamento de Fluxo de Valor
NBR	Norma Brasileira
OPT	<i>Optimized Production Technology</i>
PCP	Planejamento e Controle de Produção
STP	Sistema Toyota de Produção
TOC	<i>Theory of Constraints</i>
TI	Tecnologia da Informação
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMA DA PESQUISA	13
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo Geral	13
1.2.2 Objetivos Específicos	13
1.3 METODOLOGIA	14
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	21
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	24
4.1 LOCAL DE ESTUDO	24
4.2 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA ESTUDADA	25
4.3 PROBLEMAS IDENTIFICADOS	26
4.3.1 Desperdícios de Tempo com Desenvolvimento de <i>Software</i> de Teste	27
4.3.2 Tempos de Roteiros que não atendem o <i>Lead Time</i>	27
4.3.3 Custo da Mão de Obra	27
4.3.4 Programação Desbalanceada	27
4.4 MELHORIAS PROPOSTAS	28
4.5 CÁLCULO DOS GANHOS FINANCEIROS	29
4.5.1 Ganhos Potenciais	30
4.5.2 Cálculo de Ganhos Reais	31
4.5.3 Ganhos com Eliminação dos Desperdícios e Gargalos	32
4.5.4 Ganhos da Satisfação da Equipe	33
CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

As empresas competitivas no mercado, com melhores resultados financeiros, são as que obcecantemente buscam reduzir seus custos de produção e aumentar suas margens financeiras. Atualmente têm obtido êxito as organizações que tem focado em desenvolver/capacitar seus colaboradores, buscando melhorias que gerem retornos financeiros as organizações, devendo ter o pensamento de Melhoria Contínua, pois a empresa que achar que atingiu o ápice e não tem mais o que melhorar, está fadada a falência e logo será colocada de lado pelo mercado. O processo de melhoria deve ser, como diz o nome, contínua, ou seja, enquanto a organização existir.

O presente trabalho foi realizado na área de testes de painéis e chaves especiais. Esta linha de produção está localizada na seção de “Testes de Painéis Itajaí” do departamento de produção da WEG Automação, em Itajaí/SC.

No início do ano de 2019, após estudo e análise por uma equipe de profissionais internos, foram identificadas oportunidades de melhoria nos testes, buscando reduzir os tempos dos mesmos, de forma que ficasse didaticamente fácil a execução por técnicos de menor experiência. Esse trabalho e melhorias realizados foram baseados nos conceitos e princípios da Melhoria Contínua.

Durante a investigação foi identificada e levantada uma série de problemas no processo e na linha de produção. Entre as deficiências identificadas se destacaram algumas, tais como:

- No decorrer dos anos foram desenvolvidos vários *softwares* de testes, utilizando conceitos de cada projetista, sem padronização;
- Excesso de movimentação dos técnicos ao contatar a área de apoio para tirar dúvidas relacionadas ao teste de um determinado modelo de rede de comunicação;
- Desbalanceamento das atividades ao longo da linha de testes, gerando gargalos em diferentes postos de trabalho dependendo do *mix* de painéis que estavam em teste;
- Falta de computadores para realizar os testes de comunicação das redes com protocolos CanOpen, ModBus e RS-485;

- Desperdício de recursos, utilizando dois técnicos para realizar determinada atividade;
- Constantes atualizações no portfólio e atualizações de produtos.

Com base nos problemas identificados, foram realizados estudos e propostas de melhoria. Estas propostas foram então apresentadas para gerência da fábrica e para uma comissão de Tecnologia de Informação (TI) que avaliou a viabilidade do projeto e homologou um *Tablet* que atendesse a necessidade do projeto, bem como fez medições para que a rede *WIFI* não sofresse interferências. Após a validação das áreas envolvidas, os trabalhos de melhoria foram realizados e implantados em meados de 2019.

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

O processo de testes de painéis vem constantemente evoluindo com implementação de dispositivos de testes que auxiliam no dia-a-dia para empresas competitivas não é o suficiente. É possível ganhar produtividade na área de testes com implementação de novas tecnologias?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a situação atual da linha de testes para implantação de um novo método em redes de comunicação, identificando as perdas existentes, propondo melhorias no processo de fabricação baseadas no modelo de Melhoria Contínua, agregando novas tecnologias para ajudar na redução dos tempos de testes e, conseqüentemente, na redução de custos durante a etapa desses testes.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral proposto, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os desperdícios existentes no processo;

- Definir e testar uma padronização dos softwares de teste;
- Definir e propor melhorias no processo visando ganho de produtividade e qualidade.

1.3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho foi realizado um aprofundamento do assunto abordado, buscando literatura específica. Após, foram realizadas crononóanálises para aferir o tempo real com o roteiro, conseguindo assim identificar as ineficiências no fluxo produtivo. Como terceiro passo, foi envolvida a equipe de Kaizen da área de testes de painéis (Itajaí), bem como extrair o *feedback* de todos os envolvidos no processo. Ao final, de posse de todos os dados, foi desenvolvido um estudo de caso com as propostas de melhorias, sendo realizadas algumas simulações para escolher a melhor alternativa através de simulações práticas.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está organizado em cinco capítulos. No Capítulo 1 são apresentados os objetivos e a metodologia utilizada.

No Capítulo 2 apresenta-se a revisão de literatura sob a visão de diversos autores que abordam o tema relacionado com produção enxuta, suas características e conceitos relacionados à análise de métodos e tempos.

No Capítulo 3 está descrito o processo metodológico utilizado durante a pesquisa e elaboração do trabalho.

No Capítulo 4 consta a descrição do estudo de caso realizado, o qual traz as características da área estudada, os dados levantados e as sugestões de melhorias propostas.

No Capítulo 5 estão as conclusões da pesquisa e as sugestões de temas para pesquisas futuras na área. Por fim, são listadas as referências utilizadas para construção da base conceitual utilizada para realização deste trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A expansão comercial, industrial, tecnológica e cultural é resultado da globalização, sendo mais sentido após a segunda guerra mundial, a qual os países passaram a fazer acordos comerciais de livre comércio, abrindo caminho assim para as grandes corporações multinacionais, principalmente a partir da década de 1990.

Segundo com Paranhos Filho (2007), os países desenvolvidos alcançaram o progresso com a eficiência de seus sistemas produtivos, transformando recursos de material, de energia e de horas em produtos tangíveis e intangíveis por meio da organização de pessoas e de processos produtivos e tecnológicos.

Atualmente as empresas vêm presenciando um crescente aumento no grau de exigências do mercado. São vários os desafios, tais como: aumento da competitividade, clientes exigindo cada vez mais qualidade e prazo nos serviços e avanço da tecnologia. Para atender a esses desafios, as empresas procuram encontrar sistemas de manufatura que sejam adequados a esta nova realidade, através de uma combinação de recursos (pessoas qualificadas, equipamentos, sistemas informatizados e gestão do conhecimento) interdependentes e inter-relacionados, que devem perseguir os mesmos objetivos e cujos desempenhos possam afetar positiva ou negativamente a organização em seu conjunto.

Um dos principais modelos de gestão de produção buscado hoje pela grande maioria das empresas é baseado no modelo de produção da empresa japonesa Toyota, que criou o modelo de produção enxuta ou *Lean Manufacturing* e que chamou a atenção mundial. A Toyota transformou a excelência operacional baseada nos métodos da melhoria da qualidade e ferramentas que a tornou famosa no mundo da indústria tais como *just-in-time*, *kaizen*, fluxo unitário de peças, automação e nivelamento da produção. Porém, além da implementação destas ferramentas, seu sucesso baseia-se principalmente em sua habilidade de cultivar liderança, equipes e cultura para criar estratégias, construir relacionamento com fornecedores e manter uma organização de aprendizagem (LIKER, 2005).

Segundo Corrêa, H. e Corrêa, C. (2013), o sistema de produção enxuta tem como objetivos operacionais fundamentais a qualidade e a flexibilidade, sendo que para isso duas metas de gestão devem ser colocadas acima de qualquer outra: a melhoria contínua e o ataque aos desperdícios. Melhoria contínua tem como suporte

o controle e a otimização dos processos e foi a base para a Metodologia da Gestão da Qualidade Total.

O conceito de desperdício aplica-se a tudo que não agrega valor ao produto, não sendo atrativo para os clientes e reduzindo, assim, as chances de uma organização continuar no mercado (WOMACK; JONES, 2004).

De acordo com Liker (2005), a base para análise da melhoria de um processo de produção enxuta parte da identificação do que aos olhos do cliente final ou o da próxima etapa do processo agregam valor, ou seja, identificar as etapas ou passos que agregam valor ao produto dos que não o fazem. Neste ponto são identificadas algumas etapas que não agregam valor, porém são necessárias para a fabricação, tendo como foco minimizar o tempo gasto com estas operações que não agregam valor.

Segundo Womack e Jones (2004), 'muda' é uma palavra japonesa que significa desperdício, especificamente, qualquer atividade humana que absorve recursos, mas não cria valor, ou seja, são gastos em excesso com materiais, matérias-primas, tempo e outros que poderão aumentar o custo dos bens produzidos, mas não trarão benfeitorias à organização e ao cliente.

Linker (2005) descreve os sete grandes tipos de perdas sem agregação de valor identificados no sistema Toyota e que podem ser analisadas em qualquer sistema administrativo ou de produção. Estas perdas são:

- **Superprodução:** produzir mais que o necessário, gerando perdas com estoques e necessidade de mais funcionários;
- **Espera:** operador parado aguardando material para ser processado em função da falta de material ou ferramenta, atraso no processo, gargalos de capacidade ou ainda tempo de processamento de uma máquina;
- **Transporte ou movimentação desnecessária:** processos distantes necessitando transportes excessivos de material ou ferramentas entre processos;
- **Superprocessamento ou processamento incorreto:** oferecer produtos com qualidade superior à necessária, processo ineficiente devido a falhas operacionais ou erros do projeto inicial, etapas desnecessárias para o processamento;

- **Excesso de estoque:** excesso de matéria-prima, estoque em processamento ou de produto acabado, causando obsolescência, custos de transporte e armazenagem, além de ocultar outros problemas como desbalanceamento de produção, atraso de fornecedores entre outros;
- **Movimento desnecessário:** qualquer movimento desnecessário que o funcionário precisa para realizar uma operação como procurar um dispositivo ou ferramenta, caminhar de um ponto a outro também significam perdas;
- **Defeitos:** retrabalhos em peças defeituosas, descartar, substituir ou inspecionar requer tempo e esforço e também são perdas.

De acordo com Liker (2005), há ainda um oitavo tipo de perda incluída por ele que é o desperdício da criatividade dos funcionários, que significa a perda de tempo, idéias, habilidades, melhorias e oportunidades de aprendizagem por não ouvir ou envolver seus funcionários.

Segundo Ohno (1988), o Sistema Toyota de Produção (STP) está baseado nos princípios da cultura de melhoria contínua e da redução de custos. Estabelece o autor como passo preliminar para a aplicação do STP a identificação e eliminação dos desperdícios, necessitando de tempo na fábrica para mapear as atividades, separando o que agrega do que não agrega valor. Desta forma, a aplicação dos princípios do STP é um caminho para aumento de competitividade e excelência produtiva. Conforme Ohno (1988, p. 145), “O objetivo mais importante do Sistema Toyota de Produção tem sido aumentar a eficiência da produção pela eliminação consistente e completa de desperdícios.

As principais ferramentas *lean* utilizadas para se colocar em prática esses passos são segundo Werkema (2012): Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV), *Métricas Lean*, *Kaizen*, *Kanban*, Padronização, 5S, Redução de *Set Up*, Manutenção Produtiva Total, Gestão Visual e *Poka-Yoke*. A utilização dessas ferramentas, visando à execução dos princípios *lean*, favorece a produção condicionada pela demanda, fazendo o processo fluir, reduzindo estoques, produzindo o necessário e, conseqüentemente, resultando na eliminação de desperdício.

Eliminar os desperdícios e produzir somente o que o cliente deseja é o conceito básico da produção enxuta, ou seja, chegar à perfeição. Porém, para Martins e Laugeni (2005), dificilmente se alcança a perfeição, pois conforme os desperdícios

identificados vão sendo removidos, outros não tão significativos surgem. A definição de valor também não é constante e a sua revisão identifica outros desperdícios ao longo da cadeia de valor. Assim, a perfeição é um objetivo seguido na produção enxuta.

Uma das principais ferramentas para tornar um processo enxuto e identificar as perdas é o MFV. De acordo com Werkema (2012), fluxo de valor são todas as atividades, que agreguem valor ou não, necessárias à produção, projeção e entrega dos produtos. O fluxo de valor é constituído pelo fluxo de materiais, desde seu recebimento até a entrega, transformação de matérias-primas em produtos acabados e fluxo de informações

Uma das filosofias da produção enxuta é o *kaizen*, palavra japonesa que significa mudar para melhor e que tem sido associado à ideia de melhoria contínua. O *kaizen* é uma cultura voltada à melhoria contínua com foco na eliminação de perdas em todos os sistemas de uma organização e implica na aplicação de dois elementos, ou seja, na melhoria, entendida como uma mudança para melhor e na continuidade, entendida como ações permanentes de mudança (MARTINS; LAUGENI, 2005). Ainda sobre o *kaizen* Laraia, Moody e Hall (2009, p. 15) dizem:

O *kaizen* se difere dos processos tradicionais de melhoria contínua porque é quase inteiramente baseado em ação. Neste processo as equipes de melhoria são responsáveis pelo desenvolvimento e implementação de suas soluções, ou seja, elas criam processos ou mudam os processos existentes deixando um novo processo no lugar. Muitas das ferramentas básicas de melhoria que a empresa utiliza diariamente podem ser utilizadas para trabalhar no processo *kaizen*, sendo que a chave é aplicá-las de modo simples e direto. (LARAIA; MOODY; HALL, 2009, p. 15).

Uma das ferramentas básicas para implantação de qualquer melhoria é o 5S, técnica que quando bem aplicada resulta em melhoria na organização do ambiente de trabalho. A metodologia de organização 5S surgiu no Japão e prima pela limpeza e desenvolvimento do ambiente de trabalho produtivo

O 5S trata-se de cinco palavras japonesas iniciadas por S que significam várias atitudes em relação ao trabalho e, segundo Slack, Jones e Johnston (2013), podem ser traduzidas conforme abaixo:

- *Seiri* (separe): elimine o desnecessário e mantenha o necessário;
- *Seiton* (organize): posicione as coisas de tal maneira que sejam facilmente alcançadas quando necessário;
- *Seisou* (limpe): mantenha tudo limpo e organizado;

- *Seiketsu* (padronize): mantenha sempre a ordem e a limpeza;
- *Shitsuke* (sustente): desenvolva o compromisso e orgulho em manter padrões.

Para Paranhos Filho (2007), O 5S trata-se de um modo simples de melhorar as relações e o ambiente de trabalho, organizando-as produtivamente e, assim, otimizando recursos e tempos, 5S é a base para a implantação de qualquer programa de melhoria. Segundo Campos (2004), 5S promove o acultramento das pessoas a um ambiente de economia, organização, limpeza, higiene e disciplina, fatores fundamentais à elevada produtividade.

Outro importante método é a Teoria das Restrições: *Theory of Constraints* (TOC), que surgiu no início da década de 80 como uma evolução dos sistemas *Optimized Production Technology* (OPT). A TOC é composta de duas vertentes: Processos de Raciocínio e Aplicativos específicos (como logística de produção), cujo enfoque é a identificação e o tratamento das restrições nos poucos pontos de um sistema que determinam seu desempenho, sendo que restrição significa qualquer coisa que impeça um sistema de atingir um desempenho maior em relação à sua meta (GOLDRATT; COX, 2002).

Segundo Goldratt e Cox (2002), na teoria das restrições, o sentido do gerenciamento das restrições está no ganho sistêmico e não nas melhorias setoriais. Um conceito importante na TOC é a identificação de “recursos de gargalo” e “recursos de não gargalo”, sendo que o primeiro significa que sua capacidade é mais baixa que a demanda e o segundo significa que a sua capacidade excede a demanda. A TOC prevê a focalização em cinco etapas de tratamento do sistema produtivo, uma vez que se é exigido um processo de aprimoramento contínuo nas organizações através da avaliação do sistema de produção e do composto mercadológico para determinar a obtenção do máximo lucro usando o sistema de restrições. Estas etapas são:

- Identificar a restrição do sistema;
- Decidir como explorar a restrição do sistema;
- Subordinar todas as não restrições as restrições;
- Elevar à restrição do sistema;
- Retornar à etapa 1 se a restrição for eliminada em algum passo anterior, não permitindo que a inércia atue no processo.

Outro ponto importante que deve ser observado para a melhoria de um processo é o método aplicado para a execução da tarefa e o tempo necessário para cada atividade. Uma vez definido o melhor método devem ser definidos os tempos padrões para a execução da tarefa. Para Martins e Laugeni (2005), a medida de tempos padrões de produção é um dado importante e serve para:

- Estabelecer padrões para programas de produção permitindo o planejamento da fábrica;
- Fornecer dados para a determinação dos custos padrões para o levantamento dos custos de produção;
- Fornecer dados para o estudo de balanceamento de estruturas de produção, comparar roteiros de fabricação e analisar o planejamento da capacidade.

Para definição dos tempos padrões um dos métodos mais utilizados é a cronoanálise, sendo equipamentos básicos utilizados para esta tarefa: um cronômetro de hora centesimal, uma filmadora para registrar todos os movimentos e auxiliar o trabalho do cronometrista, folha de observações para registros e uma prancheta para que se apoie a folha de observações e o cronometro (MARTINS; LAUGENI, 2005). Tendo em vista que o tempo padrão é definido na cronometragem e por si só de nada vale, a ação da cronometragem deve servir de ferramenta para a cronoanálise.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para definição dos tempos padrões foi utilizado o método de cronoanálise, onde os equipamentos básicos utilizados para esta tarefa são: um cronômetro de hora centesimal, uma filmadora para registrar todos os movimentos e auxiliar o trabalho do cronometrista, folha de observações para registros e uma prancheta para que se apoie a folha de observações e o cronometro (MARTINS; LAUGENI, 2005). Para realização deste trabalho foi seguida a metodologia descrita a seguir:

- Definição do problema;
- Pesquisa bibliográfica;
- Pesquisa de campo;
- Utilização de técnicas da manufatura enxuta para um estudo de caso;
- Avaliação de resultados e recomendações.

A definição do problema partiu da observação e da necessidade na empresa em que o autor trabalha e onde foi aplicada a metodologia. O local escolhido para o estudo foi uma linha de testes de painéis elétricos com soluções em automação industrial. Este local passou por um processo de melhoria há aproximadamente cinco anos e meio, no período de março de 2014 até fevereiro de 2015, porém, em função de constantes problemas no fluxo de testes observados e vivenciados atualmente tanto pelos técnicos como pelos gestores da área, foi definido para a realização do trabalho.

A pesquisa bibliográfica foi útil para a fundamentação teórica a partir de estudos de livros e artigos científicos. Ao qual, possível aprofundar o conhecimento de metodologias já testadas para então integrar e comparar com os fenômenos e situações identificadas na pesquisa de campo. Como constatação a pesquisa bibliográfica objetivou conhecer diferentes contribuições disponíveis sobre os temas estudados, sendo de grande importância na determinação dos objetivos, na identificação dos problemas, na construção de hipóteses e na fundamentação da escolha do tema.

O estudo de caso foi realizado na linha de montagem descrita neste trabalho, a qual foi o objeto do presente estudo e, através dele foi possível vivenciar as características de todo o processo, tendo sido coletados dados quantitativos através de cronoanálises. O ponto fundamental foi estar em contato com os operadores de

produção, vivenciando suas experiências e ouvindo suas opiniões e sugestões a respeito dos problemas e dificuldades encontradas. Este contato com as pessoas envolvidas no processo foi de grande importância para a identificação dos problemas e formulação das possíveis hipóteses para resolução, além de estreitar os laços e ganhar a confiança para que auxiliassem na realização de testes propostos.

Para a implementação do *Tablet* em testes de rede de comunicação foi utilizado o método de Melhoria Contínua, através de uma análise dos recursos existentes, que até então era um Controlador Lógico Programável (CLP) com uma Interface Homem/Máquina (IHM) gráfica.

Iniciados os estudos percebeu-se a falta de mobilidade, devido o CLP estar fixado em um quadro e ligada por cabos de alimentação. O trabalho seguiu as seguintes etapas:

- A. Avaliação do problema (janeiro/2019): o autor desta monografia, que é o gestor da área, levou o assunto à equipe de *Kaizen*;
- B. Escolha do modelo de trabalho (janeiro/2019): ficou definido pelo gestor que o trabalho seria baseado no modelo de Melhoria Contínua, atacando os desperdícios e formação de gargalos, como aliado a tecnologia;
- C. Levantamento das sugestões (janeiro/2019): o colaborador Luis Otávio B. Filho, que faz parte da equipe de *Kaizen* da seção de Teste de Painéis, teve a ideia de utilizar um aplicativo de celular para desenvolver os estudos. Ao pesquisar as alternativas para desenvolvimento do trabalho foi escolhido o aplicativo IHM Modbus (sagram.net, 2015), pois como ele é editável foi possível acrescentar informações/programações para a nossa necessidade;
- D. Desenvolvimento modelo protótipo e testes (fevereiro-abril/2019).

O passo seguinte foi buscar uma *interface* para obter uma comunicação *Wireless*. Como a WEG fabrica o Controlador Lógico Programável (CLP) com porta de comunicação *Ethernet* foi instalado um roteador nessa porta, estabelecendo a comunicação *WIFI*. Na fase de teste foi utilizado um celular, tendo sido bem sucedido, seguindo-se para a próxima etapa.

- A. Compra dos Equipamentos (maio-outubro/2019): toda essa conexão com os equipamentos é realizada através de protocolos de comunicação, podendo ser: RS-485, ModBus, Ethernet e CanOpen. Após a fase de

testes com o celular o gestor da área chamou a equipe de TI para validar o dispositivo e qualificar um *Tablet* que atendesse a aplicação e tivesse robustez suficiente para não quebrar em caso de queda acidental;

- B. Implementação do Trabalho e treinamento dos operadores (outubro-novembro/2019): após o recebimento do *Tablet* foram sendo implementadas programações desenvolvidas e novas programações, foi passado um treinamento para a equipe de testes ao qual se obteve uma boa aceitação, a interface ficou didática e o resultado foi conforme o esperado;
- C. Cronoanálise e atualização dos roteiros (dezembro/2019): após implantado o trabalho a equipe de processos fez as devidas cronoanálises e atualizações dos roteiros;
- D. Melhorias no trabalho (atualmente).

Conforme novos equipamentos vão surgindo com o passar do tempo, são implementadas novas opções de equipamentos que não existiam no momento da implementação do trabalho. Como o trabalho é de Melhoria Contínua, futuramente podem ser agregadas novas demandas que hoje não existem.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo foi dividido em tópicos de maneira a facilitar o entendimento das informações levantadas e das ações sugeridas. A divisão segue abaixo:

- Local de análise: traz as características do setor da empresa onde foi definida a área a ser estudada;
- Características da área analisada: procura mostrar como é o funcionamento do local escolhido para o estudo;
- Problemas identificados: são descritos os problemas identificados no processo;
- Melhorias propostas: para os problemas identificados no item anterior, são descritas as propostas de melhoria.

4.1 LOCAL DE ESTUDO

O local escolhido para o estudo fica localizado dentro do grupo WEG na unidade de Automação, WEG DRIVES E CONTROLS em Itajaí/SC, no departamento de produção. Dentro deste departamento foi escolhida a seção chamada “Testes de Painéis”, a qual é destinada ao teste de painéis de baixa tensão, onde são realizados ensaios elétricos e mecânicos conforme a Norma Brasileira (NBR) IEC 60439-1: ensaios em TTA's e PPTA's (ABNT, 2003) e devem atender a NBR IEC 5410: instalações elétricas em baixa tensão (ABNT, 2004). A fabricação dos painéis é dividida em três etapas: fabricação do invólucro mecânico, montagem elétrica e testes.

Na linha de chaves especiais são fabricados painéis padrões, sendo feito um protótipo e, após passar por processo de validação, não passa mais pela engenharia, já entra como 'linha' com roteiros e tempos definidos. Já a linha de montagem de painéis AFW são painéis engenheirados ou especiais, sendo exigido um trabalho de engenharia, elétrica e mecânica, a cada pedido implantado.

Atualmente são testados cerca de 100 painéis/dia, contando com 37 funcionários divididos em turnos de trabalho. O local escolhido foi o setor de teste de chaves especiais em virtude do ganho potencial com a repetibilidade dos painéis.

4.2 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA ESTUDADA

A linha de produção estudada, setor de teste de chaves especiais, possui cinco linhas, cada uma com quatro postos e um operador por posto de trabalho. As atividades para cada posto são iguais, sendo que a complexidade e o tempo necessário variam de acordo com o *mix* de painel a ser testado. A Figura 1 ilustra o *layout* desta linha de produção com os seus respectivos postos de trabalho.



Figura 1 – Layout da Linha de Produção

Fonte: Registrada pelo autor (2020)

Próximos aos postos de trabalho ficam os armários de ferramentas e armário de gigas de testes. Na seção existe um operador chamado de coordenador que é responsável por definir a sequência dos painéis a serem testados, seguindo um mapa de produção ou uma planilha de faturamento. Os painéis a serem testados são armazenados numa área de espera, cabendo ao Planejamento e Controle de Produção (PCP) a programação do sequenciamento dos painéis a serem testados. Os painéis são identificados com ordens de produção, o que facilita a identificação dos mesmos.

As atividades de cada posto de trabalho foram definidas levando em conta o balanceamento da linha e o tempo médio das operações em função da variação do tempo de teste de diferentes painéis. O processo de teste inicia com a abertura do relatório correspondente que possui um *checklist* com pontos de verificação. A etapa seguinte é conferir a lista de materiais com o projeto elétrico, garantindo as características elétricas e dimensionais dos equipamentos.

Logo após, é feito o ensaio de tensão aplicada: durante 1 minuto se aplica uma tensão de 2,5kV para circuito de força e 1,5kV para o circuito de comando. Esse ensaio é feito para garantir a isolação dos cabos e equipamentos, antes e após o

mesmo é passado o *megger* para medir a resistência de isolamento. Conforme a NBR IEC 60439-1 (ABNT, 2003), a tensão dos equipamentos deve ter um valor superior a $1000\Omega/V$.

A última etapa de teste é o ensaio funcional, objeto deste estudo. O ensaio funcional consiste em realizar simulações de acordo com o projeto elétrico. São acionados motores e contadoras, comandados por inversores de frequência, ligados em redes com protocolos de comunicação diversos, podendo ser:

- Protocolo Profibus;
- CanOpen;
- RS-485;
- ModBus.

4.3 PROBLEMAS IDENTIFICADOS

No modo tradicional a comunicação era realizada trazendo um microcomputador até o painel e acessando os equipamentos via *softwares*. Neste caso, era necessário um técnico de maior nível para executar o ensaio. Conforme mostrado na Figura 2, era necessária uma mesa de rede com diferentes *softwares* de testes para realizar os ensaios elétricos e de comunicação.



Figura 2 – Mesa de Redes

Fonte: Registrada pelo autor (2020)

4.3.1 Desperdícios de Tempo com Desenvolvimento de *Software* de Teste

Apesar de ser uma linha padronizada, os painéis que utilizaram as redes de comunicação têm um *mix* bem variado, podendo se diferenciar por um acionamento a mais ou a menos. Quando ocorre de ser a mais, o técnico tem que abrir um programa de edição de *software* e acrescentar o acionamento através de uma programação *Ladder*. Quando for a menos, deve retirar os circuitos a mais da programação.

4.3.2 Tempos de Roteiros que não atendem o *Lead Time*

Na WEG Automação a implementação dos tempos de roteiros, pela equipe de processos, são realizados através de métricas pré-estabelecidas numa planilha de cálculos de tempos, caso o produto tenha uma repetibilidade são realizadas cronoanálises e implementado no roteiro do produto. Neste caso estudado, já havia realizados cronoanálises e definidos os tempos de fabricação, mas devido a necessidades de mercado não estavam mais atendendo os prazos contratuais exigimos na assinatura dos contratos. Devido às diversas variáveis dos equipamentos, os técnicos não conseguiam atingir os tempos que essa nova demanda estava exigindo, ocasionando atrasos da linha e criando 'gargalos' na linha de produção.

4.3.3 Custo da Mão de Obra

Para executar as atividades de edição e comunicação é necessário que se tenha, em todos os postos de trabalho, profissionais com alto conhecimento técnico e experiência em protocolos de redes de comunicação, a falta deles causaria gargalos na produção. Então, para manter as entregas deveriam ser contratados profissionais com especialização na área de comunicação, além de encarecer a mão-de-obra esses profissionais são difíceis de encontrar no mercado de trabalho.

4.3.4 Programação Desbalanceada

Recursos técnicos limitados acabam deixando a linha desbalanceada e o setor de fechamento e embalagem com pouca atividade, sendo necessário deslocar alguns dos operadores para outras atividades.

4.4 MELHORIAS PROPOSTAS

Após a realização de análise do processo, levantamento de dados e testes realizados propõe-se algumas melhorias para eliminar ou minimizar as perdas identificadas e, conseqüentemente, ter ganhos significativos de produção. Após alguns testes práticos, a proposta é a implantação de *tablets* para realizar a comunicação entre os equipamentos, com *softwares* padronizados que permitam acrescentar equipamentos através de parâmetros simples de endereçamento.

A Figura 3 mostra a arquitetura de rede da proposta de implantação de *tablets*.



Figura 3 – Arquitetura de Rede

Fonte: Registrada pelo autor (2020)

Na Figura 3, que mostra a arquitetura de rede, o mestre é a PLC300, ligado a ela pela porta *ethernet* um roteador *WIFI*. O *Tablet* capta esse sinal de *WIFI* e, através de um aplicativo desenvolvido especialmente para essa aplicação, consegue comandar os demais equipamentos que estão interligados em rede com a PLC300.

A Figura 4 mostra o controle e *status* de um motor acionado por inversor de frequência IHM.



Figura 4 – Motor Acionado por Inversor de Frequência
Fonte: Registrada pelo autor (2020)

4.5 CÁLCULO DOS GANHOS FINANCEIROS

Foram realizados levantamentos dos tempos dos materiais referentes ao produto *String-box* (caixa de passagem de cabos para Projetos fotovoltaicos), que também utilizará a solução proposta para a redução de tempo na operação “TESTE”. O produto em questão foi escolhido para a avaliação dos ganhos por ter considerável volume de produção e, devido o notório crescimento dos produtos fotovoltaicos, esse número tende a aumentar potencializando ainda mais os ganhos.

Com a implantação do *Tablet* os principais ganhos foram:

- Somente 1 operador para testar a teste, antes era necessário dois, um ficava no computador enviando o sinal, o outro checando o sinal enviados e fazendo medições dentro no painel;
- Grau de conhecimento técnico não precisa ser alto, a interface é bastante intuitiva e de fácil manuseio, antes era necessário realizar a comunicação diretamente no software de fabricante e exigia desenvolvimento de aplicação para realizar a comunicação;
- Diminuição do tempo de execução da atividade, ficou mais rápido a execução somente com 1 operador.

4.5.1 Ganhos Potenciais

Na Tabela 1 é apresentado um dado contábil do Custo R\$/Hora para testar os equipamentos na área de testes, esses dados contábeis se referem aos custos fixos (salários, encargos, etc.) e custos variáveis (rateio ABC, despesas com materiais de expedientes, etc.) Considerando os custos fixos e variáveis apresentados na Tabela 1 e multiplicando pelo tempo de roteiro, é possível calcular o valor do custo da operação de teste.

Tabela 1 – Custo da Operação

Taxas por Centro de Custo – Reposição		Taxas Base Custo Set./2019			
CC		HHVar	HMVar	HHFix	HMFfix
31044685	Testes	60,82	0,00	55,35	0,00

Fonte: Adaptada pelo autor (2020)

Através de um estudo de caso, é possível calcular o ganho potencial considerando todos os equipamentos modelo *StringBox* fornecidos nos últimos pedidos fornecidos.

A Tabela 2 mostra os custos, considerando a mão de obra da seção de testes do cliente A.

Tabela 2 – Cliente A: Processo Anterior

Material	Tempo Teste	Quantidade	Tempo Total	Hora Teste	Total
XXXXA	120 min.	248	29760 min.	R\$ 116,17	R\$ 57.620,32
XXXXB	120 min.	8	960 min.	R\$ 116,17	R\$ 1.858,72
Total					R\$ 59.479,04

Fonte: O autor (2020)

A Tabela 3 mostra os custos, considerando a mão de obra da seção de testes do cliente B.

Tabela 3 – Cliente B: Processo Anterior

Material	Tempo Teste	Quantidade	Tempo Total	Hora Teste	Total
XXXXC	100 min.	72	7200 min.	R\$ 116,17	R\$ 13.940,40
XXXXD	70 min.	132	9240 min.	R\$ 116,17	R\$ 17.890,18
XXXXE	335 min.	14	4690 min.	R\$ 116,17	R\$ 9.080,62
XXXXF	212 min.	28	5936 min.	R\$ 116,17	R\$ 11.493,09
Total					R\$ 52.404,29

Fonte: O autor (2020)

Após a realização de cronoanálise foi possível calcular os ganhos que se teria com o novo processo de testes utilizando o *tablet*.

A Tabela 4 mostra os custos do processo de teste considerando o novo procedimento com a utilização de *tablet* do cliente A.

Tabela 4 – Cliente A: Processo Atual

Material	Tempo Teste	Quantidade	Tempo Total	Hora Teste	Total
1396636 0	60 min.	248	14880 min.	R\$ 116,17	R\$ 28.810,16
1396636 2	60 min.	8	480 min.	R\$ 116,17	R\$ 929,36
Total					R\$ 9.739,52

Fonte: O autor (2020)

A Tabela 5 mostra os custos do processo de teste considerando o novo procedimento com a utilização de *tablet* do cliente B.

Tabela 5 – Cliente B: Processo Atual

Materiais Testados em 2018: Tempo Proposto					
Material	Tempo teste	Quantidade	Tempo Total	Hora Teste	Total
XXXXC	60 min.	72	4320 min.	R\$ 116,17	R\$ 8.364,24
XXXXD	60 min.	132	7920 min.	R\$ 116,17	R\$ 15.334,44
XXXXE	60 min.	14	840 min.	R\$ 116,17	R\$ 1.626,38
XXXXF	60 min.	28	1680 min.	R\$ 116,17	R\$ 3.252,76
Total					R\$ 28.577,82

Fonte: O autor (2020)

Baseado no histórico com a redução de tempo do teste para 60 minutos por peça o ganho seria de 48%, gerando uma economia de R\$ 53.565,99 somente para esses dois pedidos já fornecidos.

4.5.2 Cálculo de Ganhos Reais

Foi realizada uma cronoanálise num pedido que estava na casa, sendo ajustados os roteiros. Conforme apresentado na Tabela 6, utilizou-se o cálculo de tempo do roteiro multiplicando pela quantidade de produtos testados multiplicando

pelos custos da operação Testes apresentado na Tabela 1, chegando-se assim ao custo de R\$ 66.749,34 para a fabricação, considerando o processo anterior.

Tabela 6 – Cliente C: Processo Anterior

Material	Tempo Teste	Quantidade	Tempo Total	Hora Teste	Total
XXXXG	235 min.	57	13395 min.	R\$ 116,17	R\$ 25.934,95
XXXXH	170 min.	124	21080 min.	R\$ 116,17	R\$ 40.814,39
Total					R\$ 66.749,34

Fonte: O autor (2020)

Com o novo roteiro implementado foram calculados os ganhos da utilização do Tablet. O cálculo foi obtido pegando o tempo do roteiro atualizado multiplicando pela quantidade de produtos testados e multiplicando pelos custos da operação Testes apresentado na Tabela 1, os custos ficaram em R\$ 21.026,77, para testar o mesmo produto, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Cliente C: Roteiros Corrigidos para Fabricação

Materiais Testados em 2019: Tempo Proposto					
Material	Tempo Teste	Quantidade	Tempo Total	Hora Teste	Total
XXXXG	60 min.	57	3420 min.	R\$ 116,17	R\$ 6.621,69
XXXXH	60 min.	124	7440 min.	R\$ 116,17	R\$ 14.405,08
Total					R\$ 21.026,77

Fonte: O autor (2020)

Com os valores corrigidos houve uma redução de 68% no tempo de teste, gerando uma economia de R\$ 45.722,57 somente para o pedido do cliente C. Os novos roteiros já nascerão com os tempos de teste adequados à utilização dessa nova ferramenta, por se tratar de um produto específico para o modelo de painéis *StringBox* (caixa de passagem de cabos para projetos fotovoltaicos).

4.5.3 Ganhos com Eliminação dos Desperdícios e Gargalos

Além da redução dos tempos de roteiros, foram obtidos outros ganhos significativos nos desperdícios relacionados a deslocamentos e gargalos. Devido à ferramenta ser de fácil utilização os colaboradores não necessitam mais envolver os técnicos de maior nível, para resolução de problemas. Assim, com a mesma

quantidade de pessoal foi possível dar conta da demanda sem ter o acúmulo por superprodução, ou neste caso gargalos.

4.5.4 Ganhos da Satisfação da Equipe

A equipe que desenvolveu o trabalho, juntamente com o gestor da área, apresentou o trabalho para a diretoria, ao qual foi muito elogiado, sendo o mesmo premiado como um dos melhores de todos os *Kaizens* apresentado para a diretoria. Com os resultados alcançados ficou um sentimento de alegria e satisfação.

5 CONCLUSÃO

As novas tecnologias têm grandes aliadas através da automatização dos processos e sistemas, contribuindo com a melhoria dos resultados das corporações industriais. Apesar de a indústria brasileira ter baixa eficiência quando comparada com países de primeiro mundo, a indústria 4.0 está trazendo novas perspectivas para os CEO's e empreendedores brasileiros, em competir de forma igual com os grandes *players* mundiais.

O mundo passa por grandes mudanças rapidamente e as melhorias implantadas no ano passado devem ter um aperfeiçoamento nesse ano, isso faz parte do processo de melhoria contínua e os KAIZEN's têm sido grandes aliados na busca por melhorias nos processos fabris.

O trabalho sobre o *Tablet* para testes em painéis com redes de comunicação mostrou que é possível utilizar as novas tecnologias para testar painéis e assim conseguir melhorar a performance dos processos, atendendo o problema da pesquisa. O objetivo foi alcançado na sua totalidade, pois a aplicação de novas tecnologias obteve redução nos tempos dos processos de fabricação, em consequência um retorno financeiro para a empresa de R\$ 45.722,57.

O *Tablet* tem sido ampliado para outros produtos, como toda a linha de Conversores de Frequência WEG (CFW), Controladores Lógicos Programáveis (CLP), relés inteligentes e outros, e os ganhos serão potencializados num futuro bem próximo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 60439-1**: Conjuntos de manobra e comando de baixa tensão – Parte 1: Conjuntos com ensaio de tipo totalmente testados (TTA) e conjuntos com ensaio de tipo parcialmente testados (PTTA). Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NBR 5410**: Instalações elétricas em baixa tensão – Regras Gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. 8. ed. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços, 2004.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de Produção e de Operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **A meta**: um processo de melhoria contínua. São Paulo: Nobel, 2002.

LARAIA, A. C.; MOODY, P. E.; HALL, R. W. **Kaizen Blitz**: processo para o alcance da melhoria contínua nas organizações. São Paulo: Leopardo, 2009.

LIKER, J. K. **O modelo Toyota**: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Tradução de Lene Belon Ribeiro. Porto Alegre: Bookman, 2005.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

OHNO, T. **Toyota Production System**: Beyond large-scale production. Cambridge, Massachusetts, Productivity Press, 1988.

PARANHOS FILHO, M. **Gestão da Produção Industrial**. 20. ed. Curitiba: Ibpex, 2007.

SLACK, N.; JONES, A. B.; JOHNSTON, R. **Princípios de administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2013.

WERKEMA, C. **Lean Seis sigma**: introdução às ferramentas do Lean Manufacturing. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas**: elimine o desperdício e crie riqueza. 6. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.