



RESULTADOS DA IMPLEMENTAÇÃO DA MANUTENÇÃO PREDITIVA E DO SMED EM LINHA DE PRODUÇÃO CONTÍNUA: estudo de caso de uma empresa de alimentos

RESULTS OF IMPLEMENTING PREDICTIVE MAINTENANCE AND SMED ON A CONTINUOUS PRODUCTION LINE: a case study of a food company

Gustavo Francisco Tomazini^I
Clésio Aparecido Marinho^{II}

RESUMO

A utilização das técnicas do Lean Manufacturing está cada vez mais presente como objeto de estudo dentro da área de melhoria contínua no chão de fábrica. O presente artigo tem como objetivo trazer os resultados obtidos através de um estudo de caso utilizando técnicas como SMED (Single-Minute Exchange of Dies) e implementação de manutenção preditiva, realizado em uma indústria alimentícia com produção em série. Foram realizadas observações e entrevistas com o time operacional e com o time de melhoria contínua, assim como implementações e medições mensais dos resultados obtidos empiricamente. A aplicação das técnicas apresentadas neste artigo evidenciou resultados positivos dentro do processo de produção da fábrica, comprovando a eficácia das ferramentas do Lean em processos produtivos.

Palavras-chave: *lean manufacturing*; manutenção; preditiva; smed.

ABSTRACT

The use of Lean Manufacturing techniques is increasingly becoming an object of study around continuous improvement on the shop floor. The aim of this article is to present the results obtained through a case study using techniques such as *SMED* and the implementation of predictive maintenance, carried out in a food industry with mass production. Observations and interviews were conducted with the operational team and the continuous improvement team, as well as monthly implementations and measurements of the results obtained empirically. The application of the techniques presented in this article showed positive results within the factory's production process, proving the effectiveness of Lean tools in production processes.

Keywords: *lean manufacturing*; maintenance; predictive; smed.

Data de submissão do artigo: 27/06/2024.

Data de aprovação do artigo: 18/09/2024.

DOI: 10.33635/sitefa.v7i1.290

^I Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial pela Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Sertãozinho – São Paulo – Brasil. gustavo.tomazini@fatec.sp.gov.br

^{II} Me Engenharia de Produção pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) – São Paulo – Brasil. clesio.marinho@fatec.sp.gov.br



1 INTRODUÇÃO

As ferramentas de manufatura enxuta são eficazes quando há uma seleção adequada da ferramenta, dados coletados de forma precisa e a participação ativa das pessoas, com uma cultura de melhoria presente para implementar mudanças no método de trabalho ou na cultura organizacional, resultando em um ambiente de trabalho aprimorado (Palange; Dhattrak, 2021).

Assim, as técnicas preditivas e as ferramentas Lean são pilares essenciais para a eficiência operacional e a competitividade das indústrias modernas. Diferentemente das abordagens tradicionais, a manutenção preditiva baseia-se na utilização de dados e análises para prever falhas nos equipamentos antes que elas ocorram, o que permite intervenções mais eficazes e a minimização do tempo de inatividade. Essa abordagem possibilita a realização da manutenção de maneira oportuna, resultando em redução de custos e maior confiabilidade dos equipamentos (Mobley, 2002).

No conjunto de ferramentas Lean, o SMED (*Single Minute Exchange of Die*) destaca-se como uma técnica poderosa para reduzir o tempo de setup, que é o tempo necessário para o ajustar as máquinas e iniciar ou mudar de um produto para outro e, assim, aumentar a flexibilidade e a eficiência da produção. Dessa forma, é válido dizer que a redução do tempo de *setup* é um passo crucial para alcançar uma produção contínua e elevar a produtividade (Shingo, 1985).

Este artigo explora a sinergia entre a manutenção preditiva e a ferramenta SMED, mostrando como a integração dessas práticas pode otimizar os processos industriais, reduzir os custos operacionais e aumentar a disponibilidade dos equipamentos. Ao utilizar a previsão de falhas e a minimização dos tempos de *setup*, as indústrias podem atingir novos níveis de eficiência e resiliência operacional.

2 A MANUTENÇÃO PREDITIVA

A adoção da manutenção preditiva tem sido impulsionada pela crescente disponibilidade de tecnologias digitais e pela necessidade de aumentar a eficiência operacional em ambientes industriais competitivos. Estudos recentes verificaram que empresas que implementaram programas de manutenção preditiva registraram redução significativa nos custos de manutenção e uma melhoria na disponibilidade de equipamentos, reforçando a relevância dessa abordagem (Lee; Ni; Djurdjanovic, 2006).

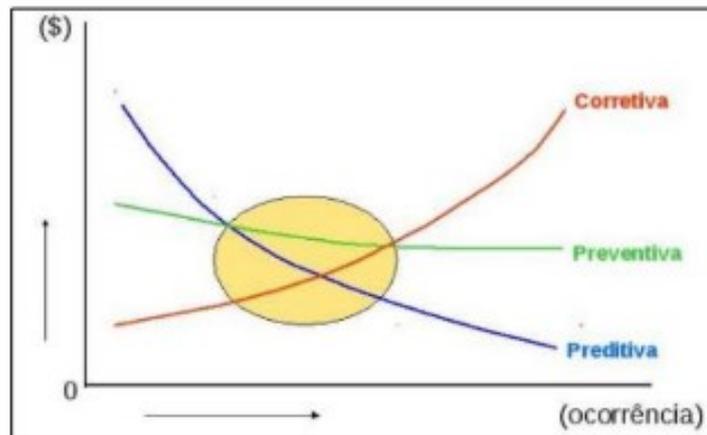
Ela se baseia na coleta contínua de dados operacionais dos equipamentos, utilizando sensores e tecnologias de Internet das Coisas (IoT), que monitoram parâmetros críticos como vibração, temperatura e pressão. Esses dados são então analisados por algoritmos de *machine learning* e inteligência artificial para identificar padrões que indicam uma possível falha iminente (Jardine; Lin; Banjevic, 2006).

O impacto positivo da manutenção preditiva é evidenciado em diversos setores industriais. Na indústria de manufatura, por exemplo, a aplicação de técnicas preditivas tem permitido a detecção precoce de falhas em máquinas-ferramentas, evitando paradas não planejadas e garantindo a continuidade da produção (Ahmad; Kamaruddin, 2012). No setor de energia, a manutenção preditiva tem sido crucial para a gestão de ativos críticos, como turbinas eólicas e transformadores, onde a falha de um único componente pode levar a interrupções significativas e altos custos de reparo. Assim, a manutenção preditiva gera, a longo prazo,



redução dos custos de manutenção, sendo a mais vantajosa entre os tipos de manutenção realizadas em uma indústria, como mostrado na Figura 1.

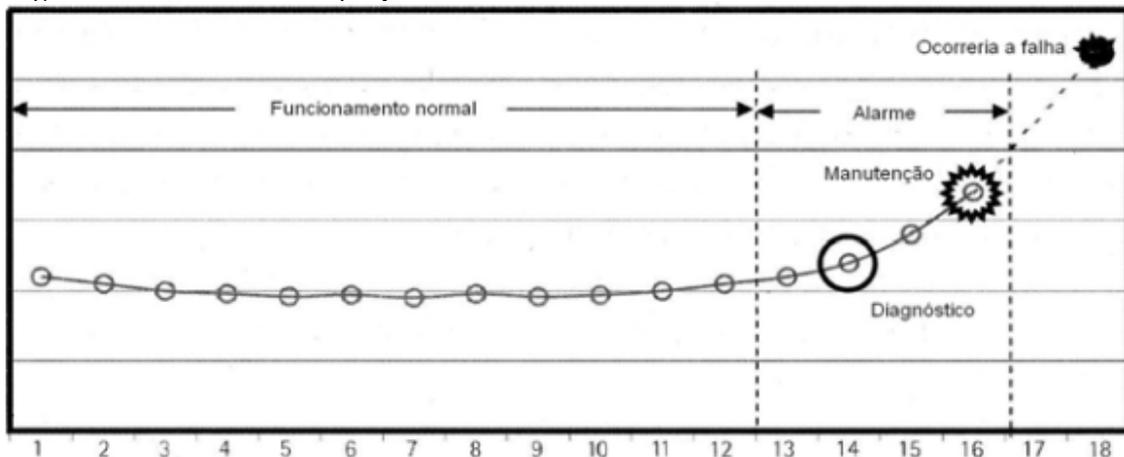
Figura 1 – Tipo de manutenção x custo



Fonte: Baldissarelli e Fabro (2019)

Dentro das fases da manutenção preditiva, destacam-se três etapas, mostrados na Figura 2: detecção do defeito, estabelecimento de um diagnóstico e estabelecimento de um prognóstico (Arato Jr., 2004). A Primeira etapa se baseia na observação dos valores obtidos, sejam eles de temperatura, vibração, controle de pressão ou qualquer que seja os dados medidos e constatação de que existe uma evolução mais acelerada que a que ocorre em uma degradação normal de um equipamento. O estabelecimento do diagnóstico é o acompanhamento dos resultados obtidos e a comparação, com base em modelos de desgaste e outras informações do equipamento, qual a causa raiz e a gravidade dos possíveis defeitos. A etapa do estabelecimento do prognóstico define quanto tempo aproximadamente o equipamento tem até a próxima parada forçada, seja por falha ou por quebra, além de ser realizada a programação do reparo.

Figura 2 - Fases da manutenção preditiva



Fonte: Arato Jr. (2004)

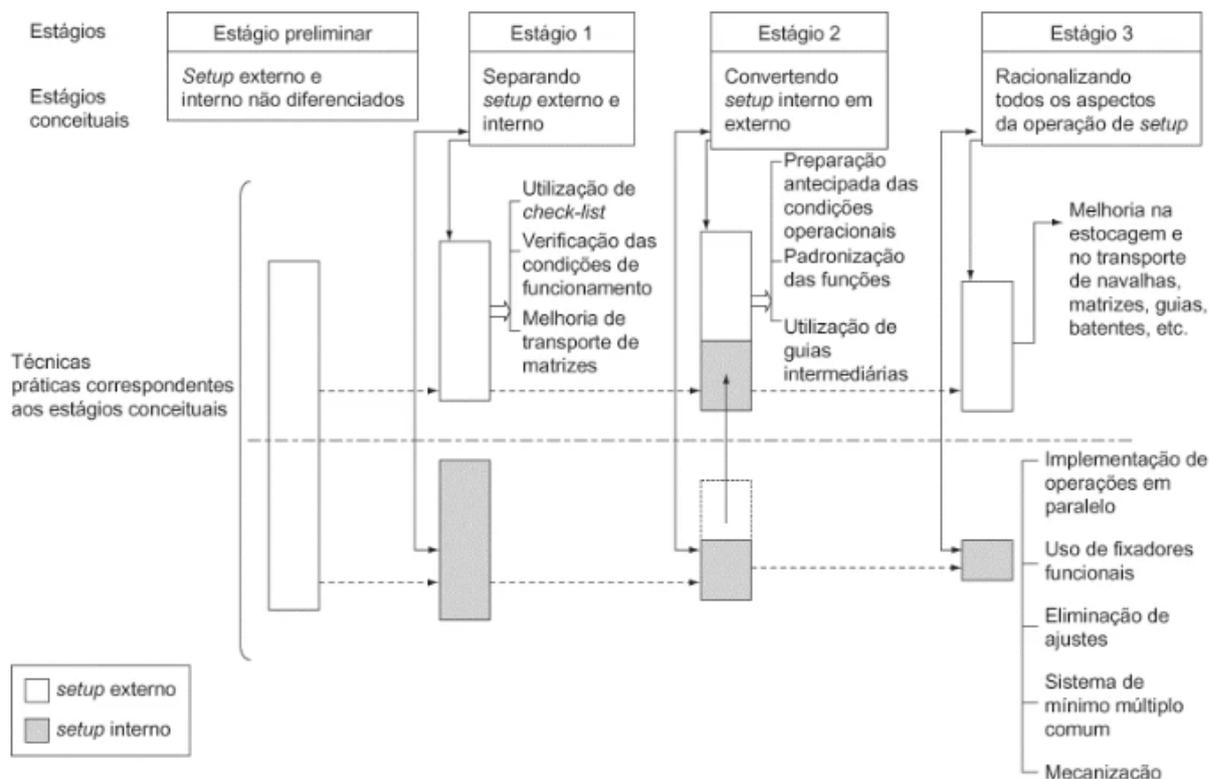


2.2 A metodologia SMED

A metodologia SMED (*Single Minute Exchange of Die*) é uma técnica Lean de extrema relevância para a melhoria dos processos produtivos. Desenvolvida por Shigeo Shingo na década de 1950, o SMED visa reduzir drasticamente o tempo de *setup* de máquinas, possibilitando trocas rápidas e eficientes de ferramentas. Esta técnica permite aumentar a flexibilidade e a eficiência da produção, elementos cruciais para a competitividade no ambiente industrial (Shingo, 1985)

Essa metodologia segue um processo sistemático que pode ser dividido em três etapas principais: separar atividades internas e externas, converter atividades internas em externas e padronizar o processo de *setup*, como mostrado na Figura 3, na qual o autor aplicou a metodologia na troca de matrizes de uma prensa. O autor identificou e classificou como *setup* interno as atividades realizadas com o equipamento parado, e *setup* externo como as operações realizadas com a máquina em funcionamento. A aplicação rigorosa dessas etapas pode levar a reduções de tempo de *setup* superiores a noventa por cento, demonstrando a eficácia do método em diferentes contextos industriais.

Figura 3 – SMED



Fonte: Shingo (2000)

A implementação do SMED tem demonstrado benefícios significativos em diversos setores. Na indústria automotiva, por exemplo, a aplicação dessa técnica permitiu uma redução notável nos tempos de setup das linhas de montagem, facilitando a produção de pequenos lotes e respondendo de maneira mais ágil às demandas do mercado (Moxham; Greatbanks, 2001).



De maneira semelhante, a indústria de manufatura tem se beneficiado enormemente do SMED, onde a redução dos tempos de *setup* contribui diretamente para a diminuição dos custos de produção e o aumento da flexibilidade operacional (King, 2009).

Além de proporcionar ganhos em eficiência, o SMED também promove a segurança no ambiente de trabalho. Ao padronizar e simplificar as atividades de *setup*, os riscos associados à manipulação de ferramentas e à reconfiguração de máquinas são reduzidos. De acordo com Cakmakci (2009), a implementação do SMED resulta em um ambiente de trabalho mais seguro e organizado, alinhando-se aos princípios de gestão de segurança ocupacional.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia adotada baseia-se em uma abordagem empírica, envolvendo a coleta de dados diretamente do chão de fábrica, contando com a colaboração das equipes de manutenção e produtiva. O objetivo é analisar o impacto dessas práticas na redução dos tempos de *setup* e na minimização das manutenções corretivas.

A pesquisa foi conduzida em uma empresa alimentícia que implementou as técnicas do SMED e manutenção preditiva. O estudo foi estruturado em etapas específicas, conforme descrito a seguir:

3.1 Participantes da pesquisa

Os participantes incluíram:

- a) Equipe de manutenção: técnicos e engenheiros responsáveis pelas atividades de manutenção corretiva e preditiva;
- b) Equipe operacional: operadores de máquinas e técnicos de *setup*;
- c) Gestores das áreas de manutenção e operações: responsáveis pela coordenação e supervisão das atividades de manutenção e *setup*.

3.2 Procedimentos de Implementação

A implementação das técnicas foi conduzida em duas fases principais:

3.2.1 Implementação do SMED

Antes da implementação da ferramenta, a indústria enfrentava diversos desafios relacionados ao *setup* de máquinas e troca de ferramentas. Os processos eram demorados e ineficientes, resultando em atrasos frequentes na troca dos padrões de forma. Esses atrasos impactavam negativamente o cronograma de produção, levando a uma capacidade produtiva subutilizada e aumentando os custos operacionais. Isso resultava em erros significativos no início da produção do novo produto que, por sua vez, gerava problema de qualidade, como defeitos nos produtos e retrabalho, afetando a satisfação do cliente e a reputação da empresa.

A falta de padronização nos procedimentos de *setup* também contribuía para variações nos tempos de *setup*. A ausência de uma metodologia estruturada para a realização dessas trocas resultava em uma dependência excessiva da experiência e habilidade dos operadores, tornando o processo vulnerável a falhas humanas. Esses problemas combinados criavam um ambiente de produção instável, com baixa eficiência e altos custos. A implementação da ferramenta SMED visava reduzir drasticamente os tempos de *setup*, padronizar os processos de troca de



ferramentas, minimizar erros e melhorar a qualidade do produto, promovendo uma produção mais ágil e competitiva, como se evidenciou na conclusão deste trabalho. A implementação da ferramenta conteve:

- a) Análise das Atividades de Setup: Identificação e classificação das atividades de setup em internas e externas;
- b) Conversão de Atividades Internas em Externas: Desenvolvimento de procedimentos para realizar atividades de setup enquanto a máquina ainda está em operação. Nesta etapa, todas as peças e ferramentas necessárias para o setup foram dispostas ao lado de cada equipamento trinta minutos antes do processo;
- c) Racionalização e Padronização: Simplificação e padronização das atividades de setup para reduzir o tempo total.

3.2.2 Implementação da manutenção preditiva

Antes de iniciar a implementação da manutenção preditiva, a indústria enfrentava falhas frequentes e inesperadas de equipamentos, resultando em paradas não planejadas e perdas significativas na produção. A manutenção era majoritariamente reativa, sendo realizada apenas após a ocorrência de problemas, o que aumentava os custos de reparo e o tempo de inatividade.

A falta de monitoramento contínuo dos ativos levava a uma incapacidade de prever falhas iminentes, resultando em danos maiores aos equipamentos e comprometendo a eficiência operacional. A manutenção preventiva, embora realizada periodicamente, não era suficiente para evitar falhas, pois não considerava o estado real dos equipamentos.

Além disso, a ausência de dados precisos dificultava a identificação de padrões de desgaste e falhas, impedindo a otimização dos planos de manutenção. Isso resultava em uma alocação ineficiente de recursos e custos elevados de manutenção.

A implementação da manutenção preditiva trouxe uma abordagem mais proativa, utilizando sensores e análise de dados para monitorar continuamente a condição dos equipamentos, prever falhas e realizar manutenções apenas quando necessário, melhorando a eficiência, reduzindo custos e minimizando o tempo de inatividade. Para isso, foi necessário passar pelas seguintes etapas:

- a) Treinamento da Equipe: Capacitação da equipe de manutenção para interpretar os dados e realizar as intervenções preditivas;
- b) Análise de Condição: Foi realizada uma análise detalhada das condições de operação das máquinas de corte. Sensores foram instalados para monitorar variáveis como temperatura, vibração e desgaste de componentes-chave;
- c) Estabelecimento de Critérios de Alerta: Com base na análise de condição, foram definidos critérios de alerta para indicar quando uma intervenção de manutenção se tornava necessária. Por exemplo, se a temperatura de operação ultrapassasse um determinado limite, um alerta era gerado;
- d) Desenvolvimento de Algoritmos de Análise: Foram desenvolvidos algoritmos para processar os dados coletados pelos sensores e identificar padrões que indicassem a necessidade de intervenção. Isso possibilitou a previsão de falhas com antecedência;
- e) Agendamento de Intervenções: Com base nos alertas gerados, foram agendadas intervenções de manutenção preventiva. Essas intervenções eram realizadas em momentos estratégicos para minimizar o impacto na produção.



3.3 Análise de dados

A coleta de dados foi realizada ao longo de três meses consecutivos, a saber: fevereiro, março e abril de 2024. Os dados coletados incluíram:

- a) Tempos de setup (antes e depois da implementação do SMED);
- b) Tempos de manutenção corretiva (antes e depois da implementação da manutenção preditiva);
- c) Quantidade de manutenções corretivas;
- d) Perdas devido a paradas por quebra/falha.

A análise dos dados foi realizada utilizando métodos quantitativos e qualitativos. Para isso, utilizou-se de ferramentas específicas para análise de dados, a saber, Power BI e Excel.

3.3.1. Análise quantitativa

- a) Comparação dos Tempos de Setup: Cálculo da redução percentual dos tempos de setup após a implementação do SMED;
- b) Comparação dos Tempos de Manutenção Corretiva: Avaliação da frequência e duração das manutenções corretivas antes e depois da implementação da manutenção preditiva.

3.3.2. Análise Qualitativa

- a) Entrevistas com Gestores e Equipes: Análise das respostas das entrevistas para identificar percepções e feedback sobre a eficácia das implementações;
- b) Observações de Campo: Análise das anotações das observações diretas das atividades de setup e manutenção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da implementação conjunta do SMED e da manutenção preditiva demonstraram uma significativa redução na quantidade e no tempo das manutenções corretivas, além de uma considerável diminuição no tempo de setup e nas perdas por paradas não planejadas quando comparados com o mês de janeiro, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados obtidos após a implementação da manutenção preditiva e do SMED

MÉTRICA	PERÍODO OBSERVADO			
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril
Quantidade de manutenções corretivas	17,00	15,00	14,00	10,00
Tempo de manutenção corretiva (minutos)	438,21	413,36	402,81	398,44
Tempo de setup (minutos)	74,12	59,53	55,14	51,68
Perdas devido a paradas por quebra/falha (toneladas)	210,12	201,46	196,23	194,37

Fonte: autoria própria (2024)

De forma análoga, as reduções percentuais para cada métrica foram bastante positivas, como identificado na Tabela 2. As reduções percentuais da tabela são em comparação aos valores coletados em janeiro.



Tabela 2 - Reduções percentuais para cada métrica estudada

MÉTRICA	PERÍODO OBSERVADO			
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril
Quantidade de manutenções corretivas	-	-11,76%	-17,65%	-41,18%
Tempo de manutenção corretiva (minutos)	-	-5,67%	-8,08%	-9,08%
Tempo de setup (minutos)	-	-19,68%	-25,61%	-30,28%
Perdas devido paradas por quebra/falha (toneladas)	-	-4,12%	-6,61%	-7,50%

Fonte: autoria própria (2024)

Esses valores confirmam a eficácia das práticas estudadas em aumentar a eficiência operacional, melhorar a flexibilidade produtiva e elevar a confiabilidade dos equipamentos.

A análise qualitativa revelou feedbacks positivos dos gestores e das equipes, que observaram uma ótima melhoria nos processos e um ambiente de trabalho mais eficiente. As observações de campo indicaram um processo de setup mais fluido e uma maior previsibilidade nas manutenções preventivas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração dessas metodologias não só otimizou os processos industriais, como também promoveu um ambiente de trabalho mais seguro e organizado, validando a importância da adoção de técnicas Lean e de manutenção preditiva para alcançar a excelência operacional.

Esse estudo confirma a eficácia das práticas estudadas em aumentar a eficiência operacional, melhorar a flexibilidade produtiva e elevar a confiabilidade dos equipamentos. A integração dessas metodologias não só otimizou os processos industriais, como também promoveu um ambiente de trabalho mais seguro e organizado, validando a importância da adoção de técnicas Lean e de manutenção preditiva para alcançar a excelência operacional.

REFERÊNCIAS

AHMAD, R.; KAMARUDDIN, S. An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application. **Computers & Industrial Engineering**, v. 63, n. 1, p. 135-149, 2012.

ARATO JUNIOR, A. **Manutenção Preditiva: usando análise de vibrações**. São Paulo: Manole, 2004.

BALDISSARELLI, L.; FABRO, E. Manutenção na Indústria 4.0. **Scientia cum Industria**, v. 7, p. 12-22, 2019.

CAKMAKCI, M. Process improvement: performance analysis of the setup time reduction-SMED in the automobile industry. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 41, p. 168-179, 2009.

JARDINE, A. K. S.; LIN, D.; BANJEVIC, D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 20, n. 7, p. 1483-1510, 2006.



KING, P. L. **Lean For The Process Industries – Dealing With Complexity**. Productivity Press, 2009.

LEE, J.; NI, J.; DJURDJANOVIC, D. Intelligent prognostics tools and e-maintenance. **Computers in Industry**, v. 57, n. 6, p. 476-489, 2006.

MOXHAM, C.; GREATBANKS, R. Prerequisites for the implementation of the SMED methodology: a study in a textile processing environment. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 18, n. 4, p. 404-414, 2001.

MOBLEY, R. K. **An Introduction to Predictive Maintenance**. Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2002.

PALANGE, A.; DHATRAK, P. Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing. **Materials Today: Proceedings**, v. 46, p. 729-736, 2021. ISSN 2214-7853.

SHINGO, S. **Sistema de troca rápida de ferramenta: uma revolução nos sistemas produtivos**. Porto Alegre: Bookman, 2000.

SHINGO, S. **A Revolution in Manufacturing: The SMED System**. Productivity Press, Cambridge, MA, 1985.