



Paulo César Loures

***Framework* para implementação da manutenção
autônoma com a abordagem das dimensões
Humana, Tecnológica e Organizacional (HTO)**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre (opção profissional) pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do
Carmo Co-orientadora: Profa. Andréa Regina Nunes de
Carvalho

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2021



Paulo César Loures

***Framework* para implementação da manutenção
autônoma com a abordagem das dimensões
Humana, Tecnológica e Organizacional (HTO)**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção
do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em
Logística da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora
abaixo assinada.

Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do Carmo
Orientador
PUC-Rio

Andréa Regina Nunes de Carvalho
Co-orientadora
INT

Antonio Márcio Tavares Thomé
PUC-Rio

Ricardo Sarmento Costa
FGV

Rio de Janeiro, 11 de fevereiro de 2021

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Paulo César Loures

Graduou-se em Bacharel Ciências Contábeis, pela Universidade Presidente Antônio Carlos – UNIPAC em Juiz de Fora, MG. MBA no curso Estratégia Industrial e Gestão de Negócios pela UFF em Volta Redonda, RJ. Atualmente participa do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio para obtenção do título de e mestre.

Ficha Catalográfica

Loures, Paulo César

Framework para implementação da manutenção autônoma com a abordagem das dimensões humana, tecnológica e organizacional (HTO) / Paulo César Loures; orientador: Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do Carmo; co-orientadora: Andréa Regina Nunes de Carvalho. – 2021.

60 f: il. color; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2021.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Gerência de operações. 3. Desenvolvimento empresarial. 4. Manutenção. 5. Produtividade. 6. Pesquisa-ação e Laminador. I. Carmo, Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do. II. Carvalho, Andréa Regina Nunes de. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. IV. Título.

CDD: 658.5

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus, pelo dom da vida e por ter me guiado nesta jornada, permitindo a realização de um sonho.

Agradeço à minha querida esposa Cristina que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos de dificuldade durante os dois anos de dedicação quase que exclusiva ao curso, mas sempre me incentivando.

Aos meus pais (*in memoriam*), meus heróis, me deram a formação de caráter e me ensinaram que o sucesso só se alcança a custo de muita dedicação.

Ao meu orientador, Prof. Scavarda, e co-orientadora, Profa. Andréa, que acreditaram no meu potencial e aceitaram me orientar nesta dissertação, prestando apoio incondicional, mesmo nos finais de semana e feriados. Vocês foram muito importantes nesta jornada.

Aos meus colegas de mestrado, pelo companheirismo, união e amizade: a turma foi digna de elogios por todos os professores que lecionaram, pelo comprometimento e resiliência. À Janaína e André, pelas palavras de encorajamento e incentivos.

Finalmente, à Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, na figura de seu corpo docente, por todos os ensinamentos transmitidos; aos funcionários, pela gentileza com a qual sempre nos tratam. Ao Prof. Márcio Thomé, coordenador do curso, pela estrutura disponibilizada e pela organização que, mesmo com alguns contratempos provocados pela pandemia da covid-19, foi conduzida com maestria.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e das agências de fomento à pesquisa CNPq e FAPERJ.

Resumo

Loures, Paulo César; Scavarda do Carmo, Luiz Felipe Roris Rodriguez (Orientador); Carvalho, Andréa Regina Nunes de (Co-orientadora). **Framework para implementação da manutenção autônoma com a abordagem das dimensões Humana, Tecnológica e Organizacional (HTO)**. Rio de Janeiro, 2020. 60 p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A Manutenção Autônoma (MA) é parte de uma estratégia de manutenção que se centra na relação "homem-máquina" para efetuar de forma eficaz a limpeza, lubrificação, inspeção e pequenos reparos. Quando devidamente implementada, a MA pode melhorar significativamente a produtividade e a qualidade, bem como reduzir os custos, portanto é uma importante área da Gerência de Operações (OM). No entanto, a indústria tem sido desafiada com inúmeras barreiras para implementar com sucesso a MA, e o meio acadêmico pouco tem feito para ajudar a indústria a este respeito. Esta dissertação aborda essa atual lacuna entre pesquisa e prática, tendo como objetivo principal desenvolver um *framework* para a implementação da MA com as dimensões "Humana, Tecnológica e Organizacional" (HTO). O trabalho baseia-se numa pesquisa-ação, conduzida no âmbito de um estudo longitudinal, num processo de laminação de tiras a quente de uma usina siderúrgica. A adoção da abordagem HTO por pesquisadores da OM tem sido conduzida com sucesso em diferentes casos e está bem documentada na literatura. No entanto, o autor sugere que esta é a primeira pesquisa a utilizar esta abordagem dentro da MA. Os resultados da pesquisa indicam a aderência das dimensões HTO para corresponder aos desafios da implementação da MA e reforçar a necessidade de uma perspectiva holística e combinada destas dimensões para o desenvolvimento empresarial, resultando em ganhos de natureza quantitativa e qualitativa e que quatorze lições foram aprendidas com implicações práticas imediatas. Os gestores da indústria podem fazer um balanço das lições aprendidas no âmbito desta pesquisa-ação e utilizar o framework oferecido para ajudar à implementação com sucesso da MA nas suas operações industriais.

Palavras-chave

Gerência de operações; Desenvolvimento empresarial; manutenção; produtividade; pesquisa-ação; laminador.

Abstract

Loures, Paulo César; Scavarda do Carmo, Luiz Felipe Roris Rodriguez (Advisor); Carvalho, Andréia Regina Nunes de (Co-advisor). **Framework for implementation of autonomous maintenance with the Human, Technological and Organizational (HTO) approach**. Rio de Janeiro, 2020. 60 p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Autonomous Maintenance (AM) is part of a maintenance strategy that focuses on the "man-machine" relationship to effectively carry out cleaning, lubrication, inspection and minor repairs. When properly implemented, AM can significantly improve productivity and quality, as well as reduce cost, therefore, it is an important area of operations management (OM). However, the industry has been challenged with numerous barriers to successfully implement AM and the academy has done little to help industry in this regard. This paper addresses this current research practice gap by offering as its main goal a framework for implementation of AM with the "Human, Technological and Organizational" (HTO) dimensions. It builds upon an action-research conducted within a longitudinal study in a rolling mill production process. The adoption of the HTO approach by OM scholars has been successfully conducted in different cases and is well documented in the literature. However, the author suggests that this is the first research to use this approach within AM. The research findings indicate the adherence of the HTO dimensions to match the AM implementation challenges and reinforce the need for a holistic and combined perspective of these dimensions for business development, resulting in gains of both a quantitative and qualitative nature and that fourteen lessons were learned with immediate practical implications. Practitioners can take stock of the lessons learnt within this action-research and the offered framework to aid the successful implementation of AM in their industrial operations.

Keywords

Operations management; Business development; maintenance; productivity; action-research; rolling mill.

Sumário

1. Introdução	11
2. Fundamentação teórica	13
2.1. Manutenção Autônoma (MA)	13
2.2. Abordagem HTO	19
3. Metodologia	26
3.1. Foco na análise	26
3.2. Participantes	27
3.3. Planejamento da intervenção	27
3.4. Avaliação de resultados	29
4. Resultados da Pesquisa-Ação	30
4.1. Caracterização do problema na laminação	30
4.1.1. Processo produtivo	30
4.1.2. Gestão da manutenção	32
4.1.3. Questões críticas da manutenção	35
4.2. Implementação do Framework MA	37
4.2.1. As equipes envolvidas	37
4.2.2. Preparação dos dados para a MA	38
4.2.3. O fluxo de informação e a tecnologia adotada	39
4.2.4. Treinamento	41
4.2.5. O pós-implementação	42
4.3. Impactos registrados	43
4.3.1. Impactos quantitativos	43
4.3.2. Impactos qualitativos	44

5. Discussões e lições aprendidas com a perspectiva HTO	47
5.1. HT Interplay	47
5.2. HO Interplay	50
5.3. TO Interplay	52
6. Conclusão	54
7. Referências bibliográficas	56

Lista de figuras

Figura 1 - Framework MA.	15
Figura 2 - HTO: dimensões e seus <i>interplays</i> .	25
Figura 3 - Layout do fluxo de produção do Laminador de Tiras a Quente.	31
Figura 4 - Esquema de uma bobinadeira.	34
Figura 5 - Fluxo de informações de TI do coletor de dados.	40
Figura 6 - Telas de inspeção de ronda pelo coletor de dados.	41
Figura 7 - Framework HTO-MA: dimensões e sua interação.	47

Lista de tabelas

Tabela 1 - Etapas de implementação da MA no equipamento piloto.	28
Tabela 2 - Indicadores de OEE.	29
Tabela 3 - Hierarquia dos equipamentos.	39
Tabela 4 - Rotinas diárias de operação da Manutenção Autônoma.	42

Introdução

Manutenção Autônoma (MA) é um conceito que tem sido aplicado em sistemas de produção de diversas indústrias, sendo uma importante área da gerência de operações (em inglês, *operations management* - OM) (Lazim e Ramayah, 2010). O objetivo da MA é atingir um excelente grau de limpeza, lubrificação perfeita e fixação segura do equipamento para reduzir a quebra de máquinas e os custos de manutenção (Musman e Ahmad, 2018). Ao praticar MA continuamente as máquinas podem operar em capacidade nominal; quebras e interrupções ocorrem raramente, o que reduz os gastos de capital com os equipamentos (Mugwindiri e Mbohwa, 2013). Portanto, quando devidamente implementada, a MA pode melhorar significativamente a produtividade, qualidade e redução de custos das operações de uma empresa. Entretanto, as empresas têm enfrentado inúmeros obstáculos para implementar a MA com sucesso (Ahuja e Khamba, 2008; Rajesh et al., 2012). Além disso, a academia pouco tem feito para ajudar a indústria nesta direção, uma vez que tem se concentrado principalmente na implementação da Manutenção Produtiva Total (TPM) (por exemplo, Alseari e Farrell, 2020). Isso abre uma importante lacuna em pesquisa e prática a ser abordada pelos estudiosos da OM.

Implementar a MA significa uma transformação organizacional que pode afetar as estruturas, o sistema de gerenciamento e as responsabilidades dos funcionários. Ela pode aumentar a motivação dos funcionários através de incentivos ao desempenho, melhorar as habilidades e resultar em um melhor sistema de tecnologia da informação (Zhongwei e Qixin, 2010). Portanto, as dimensões “Humana, Tecnológica e Organizacional” (HTO) devem ser abordadas dentro de um processo de implementação da MA, como aplicado por Carvalho et al. (2014) dentro de um contexto semelhante na literatura da OM. A dimensão organizacional (O) inclui a visão das estruturas e processos, bem como os papéis e responsabilidades dos funcionários na corporação. A dimensão tecnológica (T) contempla tanto tecnologias quanto equipamentos de um sistema produtivo, incluindo sistemas de informação, desde planilhas locais até sistemas integrados de apoio à decisão que permeiam diversas áreas funcionais na empresa. Uma visão de

integração organizacional ou um sistema sofisticado de gerenciamento de informações é de pouca utilidade se as pessoas envolvidas não tiverem visão dos processos ou conhecimento das inúmeras funcionalidades associadas aos sistemas de informação, mostrando a necessidade de integração da dimensão humana (H) na análise. Assim, a necessidade de um ajuste e alinhamento entre as dimensões HTO é essencial, exigindo uma perspectiva holística, e não individual (Gutierrez et al., 2015; Kristensen e Jonsson, 2018).

Esta dissertação aborda a atual lacuna entre pesquisa e prática, tendo como principal objetivo um trabalho de enquadramento para a implementação da MA com a abordagem da HTO por meio do desenvolvimento um *framework* para a implementação da MA com as dimensões HTO. A principal pergunta desta dissertação encontra-se em: É possível oferecer uma solução prática para implementar a MA com as dimensões HTO? Os resultados da pesquisa se baseiam em uma pesquisa-ação realizada dentro de um estudo longitudinal em um processo de produção de laminação, um ambiente real e complexo, dentro de uma usina siderúrgica. As contribuições práticas desta pesquisa são tangibilizadas no *framework* em si, que fornece uma ferramenta de apoio em implementações de MA, e nas lições aprendidas durante a implementação da MA. Do ponto de vista teórico, o autor sugere que esta é a primeira pesquisa de OM a fazer uma avaliação com as dimensões de HTO na problemática de MA. Parte dos resultados desta pesquisa está publicada em Loures et al. (2021).

Para atingir seu objetivo, esta dissertação de mestrado está organizada em cinco capítulos, sendo este primeiro o introdutório. Os capítulos 2 e 3 fornecem os fundamentos teóricos necessários para a condução da pesquisa e sua metodologia, respectivamente. O capítulo 4 apresenta o estudo de caso; e o capítulo 5 fornece as análises nas perspectivas HTO, juntamente com os resultados e discussões. No último capítulo o autor apresenta suas conclusões e sugestões para futuras pesquisas.

2

Fundamentação teórica

O presente capítulo apresenta os fundamentos teóricos para esta pesquisa. Primeiramente são introduzidos os conceitos associados a MA, para em seguida destacar a abordagem HTO.

2.1

Manutenção Autônoma (MA)

MA surgiu da filosofia da TPM, que é um modelo de gestão com uma abordagem de melhoria de desempenho das atividades de manutenção (Ahuja e Kumar, 2009), que aproveita as habilidades e o conhecimento das pessoas de uma organização para realizar a manutenção de forma eficaz (Relkar e Nandurkar, 2012). A TPM é composta por três conceitos Total, Produtiva e Manutenção (Ben-Daya, et al., 2009 e Buinus, 2015).

- Total – significa que a implantação envolve todos da organização em um cenário *top down*;
- Produtiva – significa que as atividades de manutenção autônoma sejam realizadas pelo operador durante o processo de produção, buscando sempre a estratégia operacional na relação homem-máquina, evitando interrupções por problemas durante a produção;
- Manutenção – significa que os operadores devem assumir a manutenção dos equipamentos que operam de forma autônoma, concentrando-se em realizar atividades de limpeza, lubrificação, inspeção e pequenos reparos.

A manutenção é organizada em quatro tipos de planos, sendo: a) Manutenção Preditiva; b) Manutenção Preventiva; c) Inspeções Sensitivas; d) Reparo Geral.

O objetivo da MA é conseguir um programa eficaz de limpeza, lubrificação e ajustes de equipamento para inibir a deterioração e evitar a avaria da máquina (Eti et al., 2004). Kulkarni e Dabade (2013) destacam que a manutenção autônoma compreende as tarefas de manutenção que são realizadas diariamente pelos próprios operadores.

MA é uma estratégia que se centra na relação homem-máquina para realizar efetivamente as seguintes atividades: limpeza, lubrificação e fixação (Musman e Ahmad, 2018). Esta relação refere-se à cooperação e ao sistema de comunicação entre o pessoal de manutenção e os operadores para eliminar as fontes de deterioração da máquina com base nas três atividades mencionadas anteriormente. Levitt (1998) destaca que a MA, ao ser implementada plenamente, pode melhorar significativamente a produtividade, qualidade e redução de custos. A MA é uma abordagem para reduzir perdas na planta como tempo e custos e aprimorar o gerenciamento dos equipamentos envolvendo todos os funcionários da empresa (McKone et al., 2001). MA é uma ferramenta fundamental para atender às demandas dos clientes principalmente sobre preço, qualidade e *lead time*. MA contempla o desenvolvimento do capital humano entre os operadores e é apoiada por técnicos e engenheiros para realizar atividades diárias de fácil manutenção, além da manutenção planejada (Min et al., 2011).

A implementação da MA assegura que o planejamento de cada atividade seja analisado criticamente antes de ser realizada e isto reduz as oportunidades e possibilidades de ignorar detalhes importantes neste processo (Raheja et al., 2006). Esta implementação é usualmente feita em conjunto com uma mudança estrutural na organização, pois, a nova política proposta tem um viés deliberado para MA objetivando a completar sua implementação nos sistemas de manutenção (Mugwindiri e Mbohwa, 2013).

MA não é fácil de implementar devido à presença de muitas barreiras (Rajesh et al., 2012). Embora as razões para o fracasso da MA sejam discutidas em trabalhos de pesquisa (por exemplo, Ahuja e Khamba, 2008; Rajesh et al., 2012), a literatura não demonstra como abordar tais barreiras nem menciona alternativas para alcançar MA com sucesso. As barreiras na unidade de negócios podem causar um grande retrocesso na implementação (Swanson, 2001). Por exemplo, há pessoas que veem as atividades MA como trabalho adicional, como uma ameaça ao seu trabalho e até mesmo como um regime de segurança operacional (Endrenyi, 2001).

A necessidade de se realizar uma implementação da MA segura, com passos bem definidos e detalhados, é imprescindível. A Figura 1 apresenta um *framework* MA, adaptado de Min et al. (2011), que se concentra em quatro melhorias na área operacional: qualificação técnica, postura, cultura e segurança no trabalho. O *framework* estabelece 5 etapas e é desenvolvido como parte do programa de

melhoria de habilidades dos operadores, fornecendo uma orientação passo a passo sobre como formar operadores para manter seus próprios equipamentos de produção.

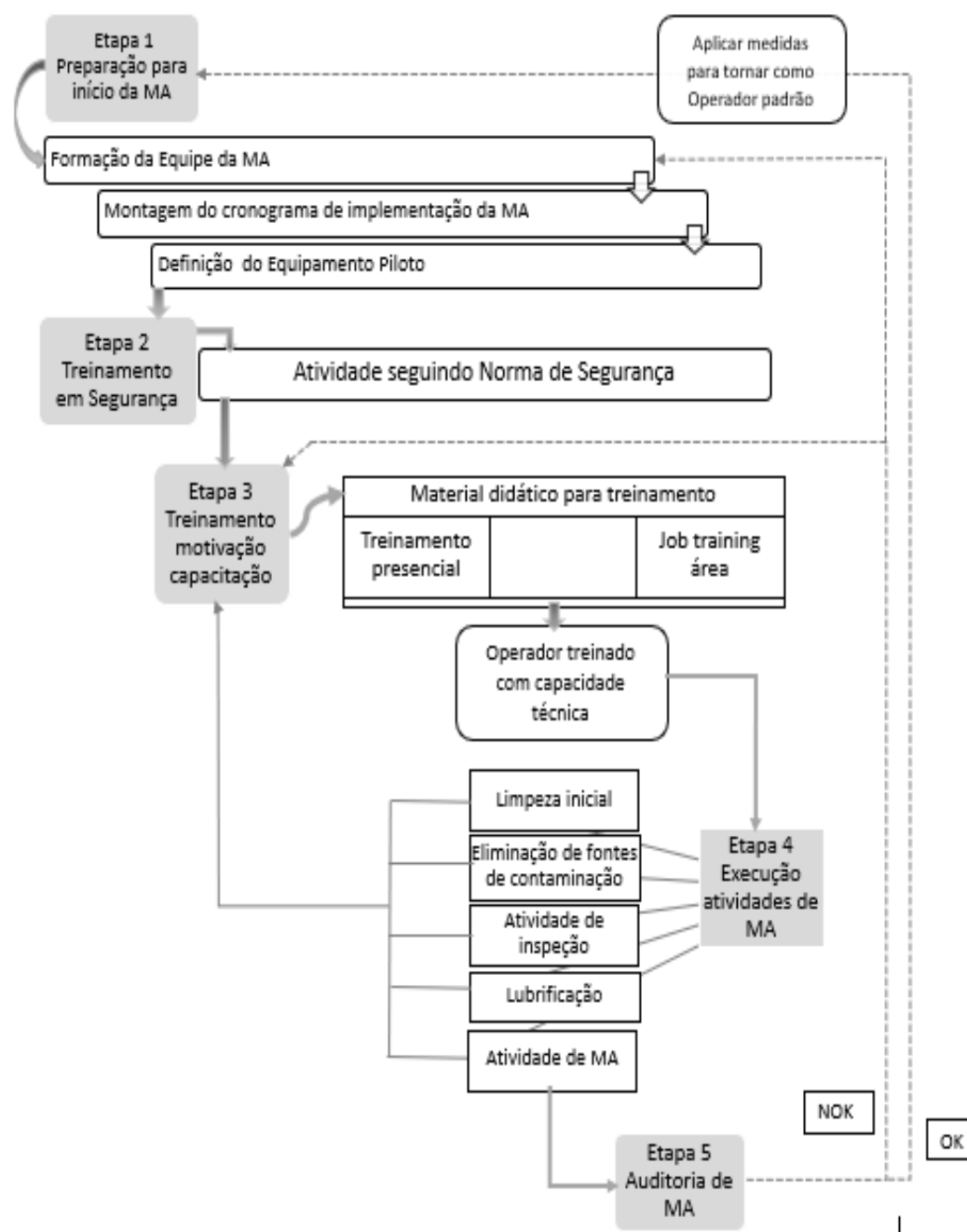


Figura 1 - Framework MA.
Fonte: Adaptado de Min et al. (2011).

Durante a Etapa 1, são formadas as equipes gerencial e de execução da MA. A equipe de nível gerencial é responsável por coordenar o trabalho dos operadores da produção e da manutenção e é focada na melhoria de processos em relação à tecnologia, automação e novas técnicas destinadas a manutenção do equipamento. A equipe de nível de execução é responsável pela manutenção dos equipamentos com base nas atividades da MA. Durante essa etapa, um cronograma de implementação deve ser planejado. Esse planejamento contempla a definição das atividades, a alocação dos recursos, a estimativa das durações e a emissão do cronograma. Um *software* deverá ser aderido na elaboração e acompanhamento do cronograma.

Ainda na Etapa 1, um equipamento piloto é escolhido para implementação da MA. O principal critério de escolha do equipamento piloto é o seu nível de criticidade. Os critérios para essa escolha podem ser baseados na frequência de deficiência, número de quebras, conforme Labib (1998). A seleção da máquina piloto é importante para o programa, pois a implantação em várias máquinas de uma só vez exige muita força de trabalho para a intervenção nestes equipamentos. Portanto, torna-se prudente iniciar o programa com uma ou duas máquinas consideradas como equipamento piloto.

A Etapa 2 refere-se ao treinamento de segurança. Nordlof et al. (2014) destacam a importância da responsabilidade individual e coletiva pela segurança. Nessa etapa, o pessoal do nível de execução é treinado e alinhado aos padrões de segurança das atividades que serão realizadas na MA. Uma vez que o operador irá realizar inspeções de itens de manutenção, todo atendimento às normas de segurança deve estar bem entendido a partir do conhecimento adquirido em treinamento.

Na sequência, a Etapa 3 tem como foco o treinamento e a motivação na MA. Para tanto, um programa de treinamento de habilidades é ministrado em duas fases. A primeira é um treinamento em sala de aula com a participação da coordenação e os níveis de gerenciamento e execução. A segunda fase refere-se ao treinamento no chão de fábrica, *on the job training* (OJT), com a coordenação da equipe de gerenciamento.

A execução do MA ocorre na Etapa 4, onde os coordenadores do programa de MA definem o dia da limpeza geral (*kick-starting*). Essa etapa envolve cinco fases principais, conforme exposto a seguir:

(i) Limpeza inicial

O equipamento é programado para parar de funcionar pelo tempo definido no cronograma e o pessoal do nível de execução, operadores e técnicos realizam a limpeza geral. Isso é considerado o marco inicial das atividades de MA. Sharma et al. (2006) alertam que a atividade de limpeza é uma oportunidade para inspeção. Em outras palavras, os executantes (e.g., operadores e técnicos) inspecionam o equipamento limpando e, assim, são capazes de identificar qualquer anormalidade e verificar se há alguma irregularidade, como defeitos leves, fontes de contaminação em lugares inacessíveis e defeitos de qualidade. A atividade de limpeza será mantida pelo operador, porém, todos os executantes em atividades devem manter a área e o equipamento limpos após alguma atividade ou intervenção. Com as habilidades e conhecimentos reunidos da etapa de treinamento, os operadores são capazes de executar estas atividades com segurança e de forma correta.

(ii) Eliminação de fontes de contaminação

Nessa fase a identificação e correção de fontes de contaminação se faz importante. A equipe de execução inicia identificando as fontes de contaminação de fácil acesso que devem ser corrigidas pelo operador no programa da MA. O local de difícil acesso deve ser tratado buscando-se uma solução definitiva pela Engenharia de Manutenção. Com o equipamento em estado de limpeza fica visível qualquer vazamento, uma vez que as fontes de contaminação são eliminadas.

(iii) Atividade de inspeção

A inspeção faz parte da rotina da MA realizada pelos operadores em paralelo com a atividade de operação do equipamento. Os itens de inspeção, definidos pelos engenheiros da equipe de gerencial e os técnicos de execução, seguem uma programação de itens sequenciais do sistema TI de manutenção. O objetivo da inspeção da MA é monitorar e verificar a condição atual de certas partes do equipamento, com a utilização dos sentidos: audição, visão, olfato e tato. Itens como a temperatura, umidade, ruído, fixação, desgaste, pressão são percebidos por meio dos citados sentidos. Para qualquer anormalidade, os operadores atuam com medidas imediatas ajustando as condições ao nível normal. No entanto, se a ação envolve mais engajamento técnico, os operadores precisam informar a manutenção o mais rápido possível para a

tomada de providências. Um bom sistema de TI torna mais preciso e eficaz o planejamento, as inspeções, os relatórios e a programação de execução das anormalidades.

(iv) Lubrificação

Durante essa fase, o processo de lubrificação manual do equipamento é realizado pelo operador a partir dos padrões da manutenção e da programação definida pelos engenheiros da equipe gerencial e dos técnicos de execução. Através da MA o operador recebe a programação e realiza as atividades programadas. A lubrificação em automático segue o sistema de tecnologia do equipamento.

(v) Atividade de MA

Nessa fase a operação recebe as informações de planejamento das atividades diárias de limpeza, lubrificação e inspeção, já acordadas ao nível gerencial e de execução. Essas atividades estão programadas no sistema de TI da manutenção.

Por fim, a Etapa 5 refere-se ao processo de auditoria, onde a conformidade das atividades da MA, descritas na Etapa 4, é avaliada. O objetivo principal desta etapa é aprimorar a prática da MA em busca da melhoria contínua. Os gestores da coordenação da implementação devem estar envolvidos diretamente nessa fase (Min et al., 2011). A auditoria do sistema deverá ser realizada por membros da organização, juntamente com uma equipe externa à área piloto, composta por engenheiros de outras linhas de produção ou departamentos. A alta gestão deve considerar qualquer comentário e recomendação dada pelos auditores, uma vez que eles têm conhecimento do processo da MA e, a partir do resultado da auditoria, iniciar a melhoria contínua na organização. Uma vez implementado o *framework* MA e concluída a Etapa 4, a auditoria entra no calendário oficial da organização.

O'Brien (1998) destaca um modelo simples da natureza cíclica da investigação da ação, onde cada ciclo tem quatro fases: planejar, agir, observar, refletir. Isto significa que os ciclos de auditoria representam um *feedback* sobre o desempenho da MA, que são reconhecidos e descritos para: planejar, executar, verificar e agir (PDCA).

Mesmo com a existência de um passo a passo, a implementação da MA não é fácil, envolvendo muitas atividades e trabalhos difíceis (Min et al., 2011; Musman e Ahmad, 2018). Sendo assim, a presente dissertação apresenta um método para

auxiliar na implementação da MA incorporando a abordagem HTO, abordagem esta que é apresentada a seguir.

2.2

Abordagem HTO

O conceito HTO tem origem no trabalho de segurança da indústria nuclear e se refere a uma abordagem multidisciplinar que pode ser aplicada em qualquer negócio (Karlton, 2007). Uma visão holística do HTO é necessária para o desenvolvimento de negócios bem-sucedidos (Carvalho et al., 2014; Gutierrez et al., 2015). Segundo Ogén (2011) o conceito HTO tem pontos de contato comuns com a manutenção. Por exemplo, os investimentos em prevenção e manutenção estratégica podem levar a uma maior eficiência com menos paradas de produção, custos reduzidos, satisfação no trabalho entre os funcionários, e menor exposição ao estresse dos funcionários (Ogén, 2011).

Na concepção HTO, o componente "H" se concentra no profissional que visa contribuir para o processo de negócios (Berglund e Karlton, 2007). Essa dimensão pode ser descrita ao nível biológico (isto é, considerando o sistema fisiológico humano), ao nível de conhecimento (isto é, quando os humanos são considerados sistemas de processamento de informação) e ao nível social (isto é, os indivíduos são membros de grupos sociais com culturas diferentes, que determinarão parcialmente seus valores e hábitos) (Daniellou, 2001). O aspecto tecnológico ("T") pode ser dividido em duas partes, sendo uma dedicada a manter a capacidade produtiva da empresa e outra que consiste nos sistemas de informações (*hardware* e *software*) que são usados como ferramentas de apoio à decisão (Berglund e Karlton, 2007). Os aspectos organizacionais ("O") representam os elementos formais de uma organização que são desenvolvidos para coordenar o comportamento dos funcionários e das diferentes partes da organização (Ogén, 2011). No processo da organização, desde a matéria-prima até produto, os fatores tecnológicos estão ligados diretamente aos fatores técnicos, e suas categorias incluem as ferramentas, equipamentos e máquinas, procedimentos e sistemas técnicos e o *know-how* de seus integrantes (Ogén, 2011).

Berglund e Karlton (2007) e Eklund (2003) consideram que uma implementação bem-sucedida só é alcançada se as três dimensões, humano-

tecnológico-organizacional, forem tratadas simultaneamente. As questões apresentadas nesta seção versam sobre essas dimensões e seus *interplays*.

Interplay H-T

Um dos ativos mais importantes de uma organização é o seu capital humano (Ahmadi et al. 2014). Esse capital humano é composto por profissionais; dentre eles existem os que precisam se adequar para utilizar tecnologias de última geração. Igualmente, nesse corpo de profissionais, há também os que já possuem qualificação em TI, aplicando esse *know-how* no estilo de sua gerência, assim como atuam de forma a acelerar os processos de adoção de TI (Zhu et al., 2006; Thong et al., 1995). Por outro lado, sistemas de TI que proporcionam melhor coleta e análise de dados, facilidade de projeto e interação de sistemas, estão viabilizando e incentivando as empresas a inovar em suas estratégias de customização na economia digital (McAfee et al. 2012). As empresas têm avançado na formulação de estratégias de personalização de sistema de TI para atender demandas de novos projetos e de seus profissionais.

Han et al. (2004) apontam que a TI, empregada nas configurações operacionais, foi utilizada para transformar e dar suporte ao comportamento no trabalho dos funcionários. No que concerne aos citados autores, vale a pena examinar seus efeitos sobre as crenças e intenções de comportamento dos indivíduos em relação a novas tecnologias, especialmente à tecnologia móvel. Han et al. (2004) tratam a adoção da tecnologia móvel como uma ajuda potencial para apoiar o trabalho do capital humano e alertam que o sucesso da tecnologia depende de como as pessoas a usam em seu trabalho.

A introdução bem-sucedida da tecnologia de TI no interior da organização desempenha um papel importante no recente aumento da produtividade do capital humano, da produção e do lucro (Bessen, 2017; Funda, 2019).

A tecnologia móvel tende em otimizar o tempo e a dar mobilidade para que os trabalhadores se tornem mais livres e ainda acessíveis a qualquer momento e qualquer lugar (Han et al., 2004).

Novas formas de trabalho estão surgindo com a tecnologia; assim, torna-se importante e necessária a realização dos treinamentos dos usuários (operação e manutenção) com a TI e com os equipamentos, para um uso melhor, e ampliação da incorporação das diferentes funcionalidades da tecnologia. Às vezes a tecnologia

disponível é muito sofisticada e o operador – por falta de conhecimento – usa apenas uma fração do que poderia ser utilizado. Markus e Tanis (2000) afirmam que os treinamentos são importantes para se obter o sistema instalado e funcionando. Ross e Vitale (2000) assinalam que os treinamentos dos usuários são importantes para que, na fase de funcionamento do sistema de TI, resolvam *bugs* no software.

Pasmore (1988, apud Berglund e Karlun, 2007) destaca em seu artigo que existem influências entre a tecnologia e o comportamento humano na produtividade. Um exemplo de que a tecnologia influencia o processo é o sistema de interface que cuida de automatizar (tornar automático/controlar seu próprio funcionamento) o processo de produção, mas de forma a ainda permitir interação entre homem e máquina, denominado HMI (Interface homem-máquina); como o próprio nome sugere, tem a função de tornar possível a comunicação do homem com a máquina, o que poderíamos considerar uma conversa entre operador e equipamento. O operador informa o que ele deseja e o sistema de Tecnologia de Automação (TA) responde se executou ou não o seu pedido, bem como informa se a máquina está pronta para ser operada ou não.

A inovação em tecnologias de Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) vêm se destacando como ferramentas industriais e a sua utilização no chão de fábrica vem se aprimorando e crescendo (Neto, 2018). Os ambientes virtuais podem ser usados em cada momento do processo industrial, seja para planejar, projetar, fabricar, treinar, prestar manutenção, testar produtos e realizar o controle de qualidade (Neto, 2018).

A criação de um ambiente virtual com plataforma para treinar a equipe atual e futuras, partindo para uma esfera mais avançada de interação – que seria a Realidade Aumentada – principalmente nas áreas de manutenção mecânica e da linha de produção, tem o objetivo de que as práticas de manutenção sejam facilmente mapeadas e se reduzam assim os retrabalhos e perdas de produtividade, estando com conectividade com o sistema TI da manutenção e ERP da organização (Neto, 2018).

Interplay H-O

O relacionamento existente entre os níveis da hierarquia da organização é citado por Slack et al. (2002) em uma perspectiva *top-down* (de cima para baixo no organograma), sendo explicada de forma a orientar e conduzir a organização no seu

ambiente coletivo. Na estratégia funcional essa perspectiva conduz a ações no âmbito operacional, considerando o que cada um deve fazer para contribuir com os objetivos estratégicos da empresa. Min et al. (2011) destacam a importância do envolvimento e do apoio da alta direção em um contexto semelhante. Ahmadi et al. (2014) apontam a importância do apoio da alta direção para propor e implementar mudanças e destacam a importância da estratégia adotada pela organização.

À medida que as equipes de chão de fábrica que trabalham nas operações do dia a dia adquirem domínio e vão ficando mais experientes, tendem a surgir as ações *bottom-up* (de baixo para cima no organograma), a exemplo da equipe operacional da MA. Deming (1992) enfatiza que o aprendizado organizacional de baixo para cima surge com a melhoria contínua através do envolvimento dos funcionários, comunicação interfuncional e feedback em todas as camadas organizacionais. As estratégias *top-down* alinham-se com as necessidades específicas da alta direção, enquanto as ações *bottom-up* tendem a alinhar-se com as estratégias gerenciais. Kim et al. (2014) sugerem que as ações *top-down* e *bottom-up* desempenham papéis complementares na formação da estratégia de operações da organização. Os planos de ação que emergem de gestores de linha de frente (*up-down*) na ausência ou apesar das intenções anteriores da alta administração (*top-down*) objetivam-se a ser integrados em sua direção estratégica (Kim et al., 2014).

Torna-se importante o planejamento e a realização dos treinamentos da operação e manutenção no desempenho das equipes e do processo. Kulkarni e Dabade (2013) afirmam que o processo de partilha de conhecimento com operadores e manutenção promove uma cultura de domínio e segurança entre eles. Essa cultura está relacionada ao aumento da moral e à satisfação e motivação do trabalho entre eles e todos na organização. Min et al. (2011) afirmam que as atividades da MA precisam ser implementadas e os treinamentos realizados para aumentar o conhecimento e a conscientização entre os operadores de produção e os técnicos de manutenção. Essa realização em conjunto torna os resultados supremos das máquinas em eficiência e disponibilidade. De acordo com Kulkarni e Dabade (2013) o processo de compartilhamento de conhecimento com operadores e manutenção promovem uma cultura de domínio e segurança entre eles e todos na organização.

Min et al. (2001) e Chan et al. (2005) acordam ser fundamental a organização definir claramente a formação das equipes assim como suas respectivas funções.

Isso direciona a estabilidade gerencial da implementação. Chan et al. (2005) destacam que os membros da equipe devem ser selecionados para formar dois grupos principais, a equipe de manutenção autônoma e a equipe de melhoria. A equipe da MA consiste em operadores que realizam tarefas de rotina da manutenção e contribuem com atividades de melhoria que impedem a deterioração acelerada dos equipamentos, controlam a lubrificação mantendo ao nível ideal em condições de projeto. A formação de uma equipe de projeto multifuncional composta por engenheiros, pessoal de manutenção e operadores que participam de ações de melhorias nos equipamentos voltadas para minimizar as perdas direcionadas nos equipamentos, complementam as atividades de MA.

A organização deverá prover uma forma de motivar e incentivar os funcionários envolvidos no sistema de implementação, o que eleva o moral da equipe. Kulkarni e Dabade (2013) afirmam que, para os operadores, receber reconhecimento proporciona uma cultura de propriedade e autonomia em relação aos equipamentos.

As funções de manutenção, que são atividades próprias do setor que leva o mesmo nome (Manutenção), estão estruturadas na organização como funções especializadas (logística interna, mecânica, elétrica e automação), integradas à preservação dos equipamentos. Souza (2008) afirma que a gestão da manutenção está relacionada com as atividades determinadas pelas funções da manutenção e serviços correlatos.

Interplay T-O

A tecnologia está modificando o comportamento no trabalho em tempo (otimização) e espaço (localização/mobilidade). Estes fatores podem se mostrar importantes para se examinar os efeitos da tecnologia, inclusive em decisões individuais de aceitá-la na organização (Han et al., 2004). Manter um projeto operando de modo seguro, após a sua implementação, é importante para os resultados operacionais da organização. Carvalho et al. (2014) destacam que uma equipe interna foi formada para o acompanhamento assistido do sistema de programação para garantir sua continuidade e eficácia, e uma equipe de suporte externa formada pela empresa provedora da tecnologia para dar suporte à engenharia de sistema e de produção para garantir a continuidade e resolver problemas de tal forma que se mantenha a continuidade do projeto.

A dimensão da tecnologia (T) representa os requisitos tecnológicos necessários para que o sistema TI funcione eficientemente. A integração dos sistemas de TI, a qualidade, os dados básicos, e o modelo do projeto são importantes nesse contexto (Stadtler e Kilger, 2005). Geralmente, o sistema ERP funciona como “sistema líder” na integração dos sistemas de TI. O sistema ERP modela as informações e alimenta o sistema externo de TI com resultados (Stadtler e Kilger, 2005). Para utilizar com sucesso um sistema externo de TI, é importante que esteja bem integrado com o sistema ERP da infraestrutura de TI (Wiers, 2002; Günter, 2005; Viswanathan, 2010).

O uso da tecnologia e dos sistemas de informação no local de trabalho objetivam aumentar a produtividade dos funcionários e melhorar os seus desempenhos e o da organização, segundo Kakiyama e Sørensen (2002) e Han et al. (2004). Chandran (2015) destaca que é possível apurar através do OEE (Overall Equipment Effectiveness), um indicador de desempenho utilizado dentro da metodologia TPM, todas as perdas causadas por mau funcionamento do equipamento, como: disponibilidade por avarias e perdas de ajuste, funcionamento abaixo da velocidade nominal, pequenas perdas nas paradas; folga acima do padrão, não produzindo com qualidade e retrabalho. Somente foi utilizado o OEE como principal indicador de manutenção, sendo descrito e referenciado nesta seção. Outros possíveis indicadores são: a) número de inspeções realizadas; b) custos de peças sobressalentes; c) movimentação de estoque de peças.

Carvalho et al. (2014) destacam que a organização deve ter uma estrutura influente no desempenho operacional e que deve equipar seu processo com tecnologia criando um ambiente que permita a implementação do tratamento de problemas operacionais, gerenciais e sociais buscando um modelo estratégico de conhecimento corporativo.

A manutenção preventiva representa benefícios para organização. Ramirez et al. (2002) destacam que um programa de manutenção preventiva bem planejado traz redução de quebras do equipamento e de custos, um aumento de produtividade. Chandran (2015) aborda que todas as perdas causadas pelos equipamentos devido a uma manutenção preventiva sem planejamento adequado devem ser apuradas, e destaca que as principais estão relacionadas ao equipamento não estar disponível quando necessário devido a quebras, velocidade reduzida e por somatório de pequenas paradas. A manutenção autônoma inclui-se no planejamento preventivo

e preditivo, que compreende as atividades de intervenção em pequenas paradas programadas que são realizadas dia a dia pelos próprios operadores (Kulkarni e Dabade., 2013). Uma manutenção preventiva deficiente em planejamento gera manutenção corretiva (paradas emergências). Segundo Kardec e Nascif (2006) a manutenção preventiva está ligada ao conhecimento prévio das ações a serem realizadas, previsão de custo e boa condição de gerenciamento.

A Figura 2 apresenta uma síntese das dimensões do HTO com suas interações implícitas.

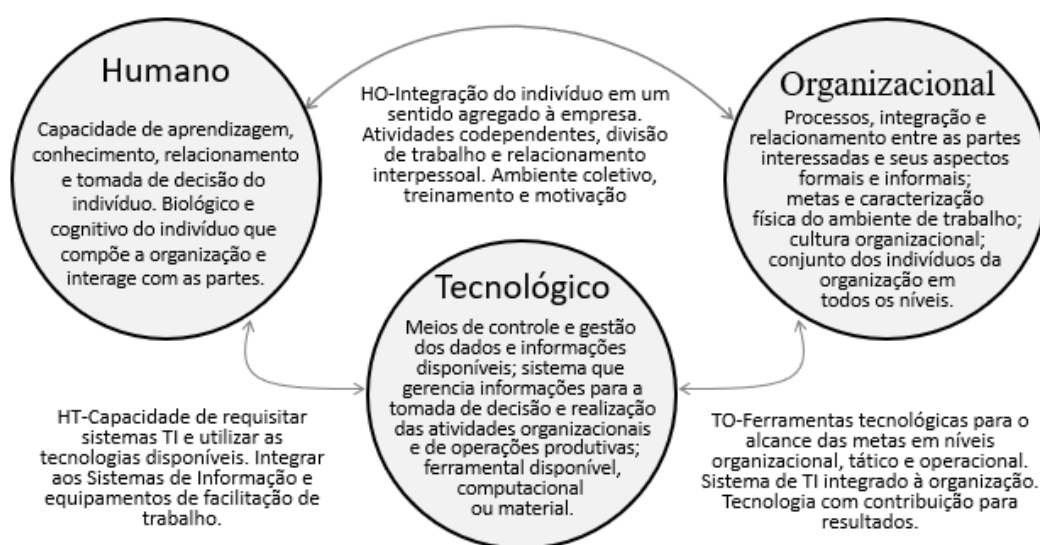


Figura 2 - HTO: dimensões e seus *interplays*.
Fonte: elaborado pelo autor.

3

Metodologia

A dissertação se baseia no método de pesquisa-ação, que consiste em conduzir ações, fazê-las acontecer e criar conhecimento a partir de seus resultados (Coughlan e Coughlan, 2002). O que difere a pesquisa-ação das práticas de consultoria é a contribuição científica, a metodologia rigorosa e a garantia de que a intervenção seja informada e apoiada por considerações teóricas sem preconceitos (O'Brien, 1998).

A aplicação da pesquisa segue Carvalho et al. (2014; 2015) e visa a solução de impasses da indústria com o envolvimento de pesquisadores e profissionais em um verdadeiro desafio para a compreensão do processo de mudança. Segundo Vizzon et al. (2020), o ambiente organizacional deve suportar mudanças e o compromisso deve ser fornecido pela alta administração, para impulsionar a mudança e diminuir a resistência entre funcionários. Esta comunicação deve ser eficaz, neste caso, a tecnologia da informação tem um papel importante no processo de mudança.

3.1

Foco na análise

A pesquisa foi conduzida em um laminador de tiras a quente, que é o principal fornecedor de produtos acabados (para atendimento ao mercado consumidor) e semiacabados (para abastecer a cadeia sequencial de processos na usina), de uma usina siderúrgica de grande porte localizada na região sudeste do Brasil. O estudo deste laminador foi escolhido por enfrentar desafios para implementar a MA em suas operações semelhantes aos caracterizados na introdução e no referencial teórico desta dissertação, sendo assim uma escolha adequada de amostra para a pesquisa.

O equipamento selecionado para o projeto piloto foi uma – de um total de três – unidade de bobinamento do material. O laminador passou por um *revamp* há dois anos e esse equipamento foi totalmente modernizado, inclusive no controle e na automação. As bobinadeiras estavam apresentando problemas e as principais causas

verificadas foram: a) falta de treinamento da equipe de operação e manutenção; b) os planos de manutenção não foram atualizados; e c) falta de planos de inspeção e programação de manutenções.

3.2

Participantes

O autor deste trabalho esteve envolvido como um “agente externo”, atuando diretamente com o gerente-geral da laminação estudada e com os gerentes da manutenção e operação. Todas as etapas do framework MA foram conduzidas ao longo de um estudo longitudinal de 2 anos no laminador até que todo o ciclo fosse concluído.

Três equipes foram formadas para apoiar a implementação da MA na empresa estudada. A primeira foi a equipe de implementação, indicada pelo diretor-geral da usina. Essa era composta por agentes externos, que atuaram como facilitadores em todos os projetos piloto de implementação de MA na empresa. As outras duas equipes eram dedicadas às suas respectivas áreas e indicadas pelo gerente de manutenção. Tratava-se da equipe gerencial, formada por engenheiros e especialistas, e a equipe de execução, formada pelos técnicos de manutenção e operadores.

3.3

Planejamento da intervenção

O processo de implementação da MA foi organizado em cinco etapas, conforme a Figura 1 – Framework MA. A Tabela 1 resume essas etapas apresentando os objetivos, as principais atividades e os participantes envolvidos em cada uma delas.

Etapa	Objetivo	Atividades	Participantes
1	Preparação para o início da MA	Formação da equipe (funções e reponsabilidades) Definição de cronograma Definição de equipamento piloto	Todas as equipes
2	Treinamento em segurança	Treinamento básico dado pelo Departamento de Segurança da Empresa	Todas as equipes
		Treinamento específico (sobre o equipamento piloto) dada pelo Engenheiro do Departamento ou Técnico especialista	Todas as equipes
3	Treinamento e motivação em MA	Abertura realizada pelo coordenador geral, do programa MA e sua importância, responsabilidades de cada membro da equipe no MA cronograma do projeto piloto, objetivos, resultados esperados.	Todas as equipes
		Treinamento técnico teórico, ministrado pela equipe nível de gerencial, em noções básicas de manutenção e técnicas aplicadas aos equipamentos.	Equipe nível gerencial e execução
		Treinamento no chão de fábrica, ministrado pela equipe nível gerencial, onde os engenheiros realizam atividades com os treinandos na área de produção	Equipe nível gerencial e execução
4	Execução de atividades de MA	Os operadores realizam as etapas MA: limpeza inicial, eliminação de fontes de contaminação, inspeção, estabelecimento de normas e rotinas de lubrificação e atividades de MA.	Equipe nível execução
5	Auditoria de MA	Uma equipe externa é convidada para avaliar a execução das atividades de MA.	Equipe nível gerencial e execução

Tabela 1 - Etapas de implementação da MA no equipamento piloto.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para se chegar ao equipamento piloto para implementação da MA no laminador, conforme previsto na Etapa 1, foram realizadas as medições de OEE (*Overall equipment effectiveness*) nos principais setores do laminador, conforme apresentado na Tabela 2.

Item	Setor	Disponibilidade	Desempenho	Qualidade	OEE
		%	%	%	%
1	Fornos	89,99	99,99	99,99	89,97
2	Laminador Desbastador	92,42	93,47	99,99	86,38
3	Laminador. Acabador	93,80	98,27	99,95	92,13
4	Bobinadeiras	91,01	92,450	97,220	81,80

Tabela 2 - Indicadores de OEE.

OEE = Disponibilidade x Desempenho x Qualidade

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando-se o menor valor de OEE, as bobinadeiras apresentaram o pior resultado e, por conta disso, foram escolhidas como equipamento piloto para o projeto.

Dessa forma, o equipamento piloto para implementação da MA foi a bobinadeira do laminador de tiras a quente, passando a ser o objeto direto da unidade de observação.

3.4

Avaliação de resultados

Diferentes indicadores foram necessários para mensurar os resultados obtidos a partir da implementação da MA no contexto analisado. Os indicadores considerados se referem a: i) número de inspeções realizadas (itens inspecionados dia, valor > melhor), ii) custos de peças sobressalentes (anual, valor < melhor), iii) movimentação de estoque de peças (anual, valor < melhor) e OEE (mensal, valor > melhor). Para o seu cálculo foram utilizados dados disponíveis no ERP e no Sistema TI da manutenção da empresa. Além disso, impactos qualitativos, decorrentes da realização desse trabalho, também foram avaliados segundo as percepções das três equipes diretamente envolvidas, permitindo assim a realização da triangulação dos resultados. Essa triangulação contou com a participação das equipes de operadores e da manutenção do turno de produção, onde foi aplicado um critério de gestão à vista com a opinião de todos os envolvidos diretamente na MA. Os resultados, após consenso com as equipes envolvidas, foram divulgados em reuniões e em mídias da empresa.

4

Resultados da Pesquisa-Ação

Este capítulo apresenta os resultados obtidos com a pesquisa-ação, organizadas pela caracterização do problema, implementação do framework MA e impactos registrados.

4.1

Caracterização do problema na laminação

Essa caracterização está organizada em três subseções. A subseção 4.1.1 descreve o processo de produção da indústria, do equipamento em estudo e seus setores. A subseção 4.1.2 apresenta uma descrição sobre a manutenção com sua estrutura e seus planos de manutenção. A subseção 4.1.3 finaliza com a descrição das questões críticas da manutenção e do equipamento piloto da MA.

4.1.1

Processo produtivo

A pesquisa foi realizada em uma usina integrada de produção de aço a partir do minério de ferro. A empresa atua em toda a cadeia do aço, desde a extração do minério até a entrega do produto final, operando especialmente em aços planos. É fabricante de aços para embalagens, aços revestidos com zinco e alumínio utilizado na construção civil, pré-pintado voltado para aplicações em eletrodomésticos e produtos da construção civil. Entre o mercado consumidor de aço, a empresa se destaca nos setores automotivo, de construção civil, linha branca e *OEM (Original Equipment Manufacturers)*. Os produtos são fabricados nos elevados padrões de qualidade e características conforme as principais normas nacionais e internacionais de controle e possui certificação nas normas de qualidade ISO. Sua capacidade de produção em aço bruto é de 6 milhões de toneladas ano, operando em turnos ininterruptos.

Uma das fases do processo produtivo dessa empresa é a laminação onde a matéria-prima é submetida as reduções físicas para que possa adquirir forma e a tratamentos por processos para adquirir propriedades adequadas à sua aplicação

sequencial. Uma variedade relativamente ampla de equipamentos é normalmente utilizada, dependendo do produto final desejado. Nessa usina, a primeira laminação é feita a quente, ou seja, com o material sendo mantido a temperaturas de processos pré-definidas para facilitar a sua conformação e atingir a sua especificação técnica. O laminador de tiras a quente, foco desse estudo, transforma placas de aço em bobinas, reduzindo a espessura das placas provenientes do lingotamento contínuo, de acordo com os requisitos dimensionais e de tolerância das espessuras das bobinas atendendo ao pedido e aplicação do consumidor. Essas bobinas são utilizadas como matéria-prima para processos internos ou vendidas como produtos acabados para outras indústrias.

A Figura 3 apresenta os principais setores que compõem o laminador. O primeiro é o forno de reaquecimento de placas (i.e., quatro fornos, tipo *walking beam* com capacidade de 250 tonelada hora cada, para uma produtividade de 730 tonelada hora do laminador). Em seguida está o laminador desbaste que comporta um pré-desbastador com *drives* horizontal e vertical do tipo duo reversível com 7 passes e mesa de rolos. O terceiro é o laminador acabador que possui sete *drives* de laminação horizontais e contínuo, equipado com recursos de alta tecnologia para obtenção da qualidade do produto acabado. Por fim, estão as três bobinadeiras, com recursos tecnológicos de alto desempenho, capazes de processar todo o *mix* de produtos, das tiras de espessura de 1,20 mm a 12,70 mm, em variados níveis de qualidade e resistência mecânica. As bobinadeiras sempre trabalham de forma sequencial alternada (i.e., enquanto uma está bobinando um produto, as outras duas estão em espera para o próximo produto).

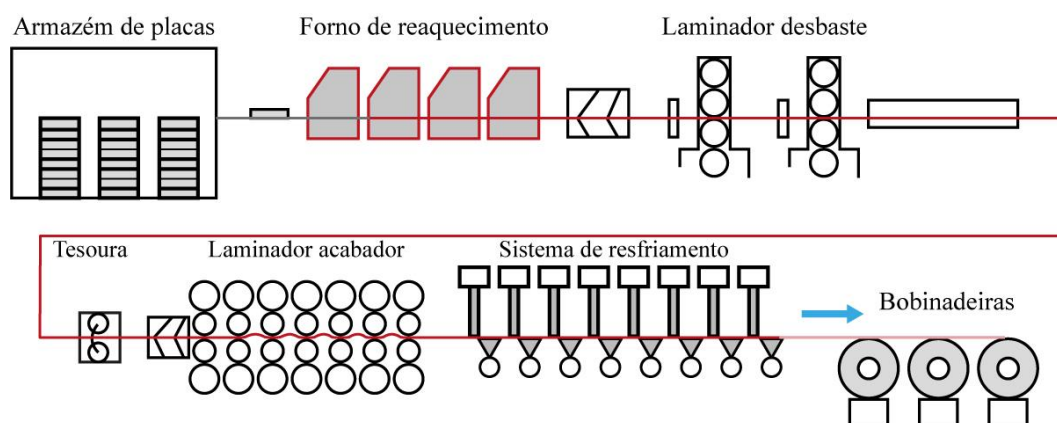


Figura 3 - Layout do fluxo de produção do Laminador de Tiras a Quente.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em geral, o laminador se refere a um processo operacional totalmente automatizado por controles de última geração. Nesse sentido, cabe aos operadores as tarefas de realização de *set up* dos equipamentos e o acompanhamento visual da operação, sem necessidade de interferência no processo. Todos os setores do laminador possuem sistemas independentes e dedicados para o seu funcionamento. Cada um possui sua sala de controle elétrico (instrumentação e automação) além dos diferentes sistemas necessários (e.g., hidráulico, lubrificação a óleo, lubrificação a graxa, água pressurizada e ar comprimido) para a sua operação. Além disso, cada setor do laminador tem sua própria equipe de operação. Ao todo são quase 60 colaboradores, dentre engenheiros, técnicos especialistas e operadores que rodam turno.

4.1.2

Gestão da manutenção

A manutenção da laminação tem como prioridades a segurança, o meio ambiente, a qualidade, os custos e a disponibilidade operacional. Em busca da excelência, a manutenção mantém um programa interno para lidar com análises de falhas, custos de manutenção, estoques, atendimento ao planejado das rotinas de manutenção e indicadores da laminação.

A equipe de manutenção da área de laminação, na ocasião em que este estudo foi realizado, contava com um quadro de 32 colaboradores (24 em horário administrativo e 8 rodando turno), distribuídos entre os 4 setores dessa área. Mais especificamente, além do gerente de manutenção, essa equipe era composta por engenheiros (3 de automação, 1 de mecânica, 1 de elétrica e 1 de fluidos), supervisores (4 de mecânica e 2 de elétrica), técnicos especialistas (2 em automação) e técnicos inspetores/planejadores (1 de mecânica e 1 de elétrica). Além disso, um supervisor geral coordena as equipes que revezam turno. A laminação funciona 24 horas, com quatro equipes em três turnos de revezamento. Cada equipe é composta por um técnico elétrico e um técnico mecânico.

Somando-se a isso, uma equipe terceirizada atendia ao laminador e as demais áreas produtivas da usina no que tange a manutenção preventiva e reparo geral. Essa equipe é formada por técnicos especializados em mecânica e elétrica, que eram programados conforme a demanda do serviço.

Na estrutura organizacional da equipe de manutenção do laminador estão compreendidas cinco funções especializadas:

- Apoio e logística, responsável pelo controle de material de consumo e pela supervisão da infraestrutura e suporte.
- Elétrica e eletrônica, responsável pela manutenção, reparo e instalação dos equipamentos elétricos, eletrônicos e instrumentação.
- Automação e controle, que atua na programação, modelamento e automação do controle de velocidade, bem como no processo de qualidade do produto.
- Flúidos, responsável pela manutenção, reparo e instalação dos equipamentos e unidades centralizadas de lubrificação e água de alta pressão.
- Mecânica, que realiza a manutenção, melhorias, desenvolvimento nas instalações dos equipamentos mecânicos.

Essas funções são integradas na manutenção dos equipamentos. Por exemplo, no caso das bobinadeiras, seus componentes, apresentados na Figura 4, demandam diferentes tipos de inspeção. Os rolos puxadores são inspecionados em termos de ruído, vibração, lubrificação, temperatura e desgaste na superfície. Nesse sentido todas as funções citadas podem ser acionadas. O mandril retrátil, por sua vez, exige uma diferenciação na inspeção, em função do seu número de componentes e da complexidade no seu funcionamento. O caminho da tira já é bem mais simples, demandando inspeções de desgaste e ruído, envolvendo exclusivamente a função de manutenção mecânica.

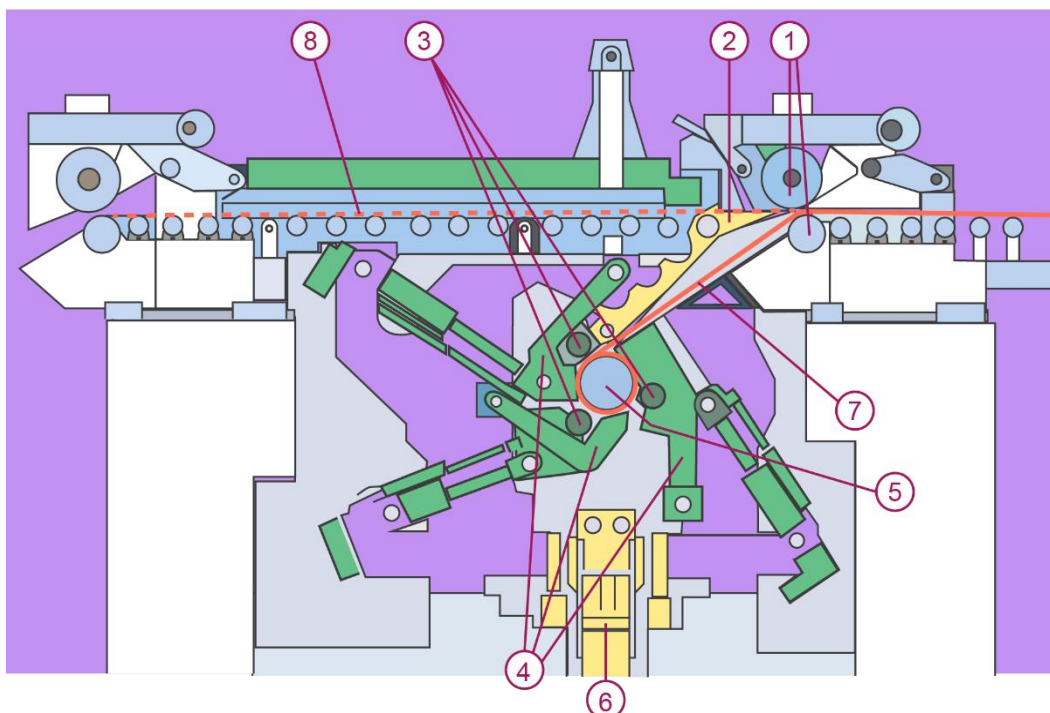


Figura 4 - Esquema de uma bobinadeira.

(1) Rolos puxadores – superior móvel e inferior fixo (2) Flap desviador para entrada da bobinadeira (3) Rolos guias pressionadores móveis (4) Defletores móveis (5) Mandril retrátil da bobinadeira (6) Carro elevador e transportador da bobina (7) Bobinadeira ativa (8) Caminho para bobinadeira seguinte.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As atividades da manutenção eram realizadas por um sistema departamental, o Sistema TI da manutenção, com um servidor mestre dedicado e servidores setoriais nas áreas da usina. O sistema integrado de gerenciamento industrial utilizado pela empresa é o *SAP ERP* com módulos de produção, financeiro, logístico e empresarial. A ferramenta *PI-Process Integrator* viabiliza a troca de informações entre o Sistema TI da manutenção e dois módulos do *SAP*. O primeiro módulo é o *SAP Warehouse Management* que executa transações com o sistema de estoque de peças (i.e., reservas, controles e emissão de avisos de compra para estoque mínimo, controle de custos). O segundo é o *SAP Financial Accounting* que realiza a liberação de pagamentos de notas fiscais a partir das liberações de ordens de serviços de manutenção executadas.

Através do sistema TI da manutenção, a equipe de manutenção do laminador gera quatro tipos de plano:

- **Manutenções Preditivas:** Elaborado pelos engenheiros e técnicos especialistas, esse plano se refere a atividades de manutenção periódica que englobam análises de óleo lubrificante, medição de vibração e termografia elétrica.

- **Manutenção Preventiva:** Trata-se de manutenções realizadas quinzenalmente que envolvem a inspeção pelo Sistema de Ronda e o acompanhamento da vida útil dos equipamentos. Esse planejamento é realizado pelos técnicos inspetores/planejadores setoriais. Em geral, o planejamento das ordens de serviços é distribuído em 80% para a equipe terceirizada e 20% para equipe da laminação.
- **Inspeções Sensitivas:** Trata-se das rotinas, planejadas pelo Sistema de Ronda, que abrangem atividades de inspeção de equipamentos em operação ou em parada. Estas rotinas são realizadas somente pelas equipes de manutenção, de uma forma cíclica e sequencial, com frequência diária. As rotinas de inspeção de ronda são realizadas pelos técnicos inspetores/planejadores mecânico e elétrico setorial. Há pequenas rotinas para inspeções de ronda para os técnicos mecânico e elétrico do turno. Vale ressaltar que a equipe de operação não realizava inspeções de ronda.
- **Reparo Geral:** Trata-se de manutenção anual com atividades programadas para um período de 7 dias consecutivos, que se referem aos equipamentos que apresentaram resultados com problemas nas inspeções preditivas e itens em equipamentos que não apresentam tempo de reparo maior do que o da manutenção preventiva. Essas atividades envolvem um elevado efetivo de terceirizados e todas as gerências são envolvidas.

4.1.3

Questões críticas da manutenção

De acordo com os dados históricos do laminador, as bobinadeiras apresentaram o pior resultado em termos de OEE quando comparado com os resultados dos demais equipamentos desse processo (vide Tabela 2). Durante a realização de visitas técnicas, observou-se que esses equipamentos não estavam operando até sua capacidade de produção total, devido a problemas associados a manutenção e a operação. Na ocasião, verificou-se que a limpeza dessas máquinas somente ocorria durante as manutenções preventivas, o que provocava acúmulo de sujeira e detritos que causavam falhas na regulação e interrupções não programadas. Além disso, constatou-se a ocorrência de constantes aquecimentos e

quebras de rolamentos devido à lubrificação inadequada e mal realizada, à deficiência nas inspeções da manutenção e à falta de inspeção pela operação. Por fim, foram registrados ainda erros operacionais decorrentes da operação do equipamento de forma manual, provocando avarias, interrupções e vazamentos em fluidos e ar comprimido.

De um modo geral nessa empresa, as rotinas de execução do planejamento da manutenção eram ineficientes, decorrente de um processo de atualização de dados não automatizado no Sistema TI da manutenção. Nesse sentido, as deficiências observadas nas inspeções de ronda, embora sistêmica, eram de difícil retorno ao sistema de TI da manutenção por ser totalmente manual.

Além disso, na ocasião desse projeto, o banco de dados desse sistema encontrava-se desatualizado. Isso se deu em função das reformas ocorridas no laminador antes da implementação da MA, em que os equipamentos mecânicos, elétricos e automação foram modificados e modernizados. No equipamento piloto, nossa unidade de observação, havia equipamentos eliminados cadastrados e equipamentos novos sem cadastro, colocando o banco de dados no sistema TI da manutenção deste equipamento em necessidade de atualização.

Embora a empresa tenha desenvolvido uma estratégia de manutenção, o chão de fábrica opera dentro de um contexto cultural que influencia como os funcionários lidam com as tarefas de manutenção. Os operadores geralmente ignoram os problemas crônicos nos equipamentos para garantir os resultados da produção, mas, por outro lado, trabalham sob estresse.

A falta de um programa de treinamento para o pessoal de operação e manutenção e, especialmente para os novos funcionários, estava impactando diretamente a produtividade, a qualidade e a segurança no ambiente de trabalho. Além disso, a organização não mantinha uma política de retorno de reconhecimento e motivação para a equipe de chão de fábrica, valorizando somente o cumprimento das metas de produção.

Por fim, observou-se que a política da organização para lidar com o planejamento das atividades de manutenção preventiva era mal executada pelas gerências. Vale ressaltar que a manutenção preventiva está associada ao conhecimento prévio das ações a serem realizadas, à previsão de custo, ao planejamento logístico e à boa condição de se gerenciar. As bobinadeiras apresentavam instabilidade operacional o que muitas vezes ocasionavam

interrupções por manutenções corretivas. A corretiva, no que lhe concerne, é inconveniente por estar ligada diretamente aos custos de falhas, às dificuldades de reposição do tempo parado.

4.2

Implementação do Framework MA

Esta subseção apresenta uma série de questões relacionadas com a implementação da MA no laminador estudado. Essa implementação está organizada em cinco subseções. A subseção 4.2.1 descreve as equipes envolvidas na implementação. A subseção 4.2.2 apresenta uma descrição sobre a preparação dos dados para a MA. A subseção 4.2.3 descreve o fluxo de informações e a tecnologia adotada para o sistema de inspeção. A subseção 4.2.4 descreve os dois tipos de treinamentos realizados. A subseção 4.2.5 finaliza com a descrição das questões acordadas na pós-implementação da MA.

4.2.1

As equipes envolvidas

Três equipes estiveram envolvidas na implementação da MA no laminador. A primeira, composta por “agentes externos”, coordenava a implementação sistêmica da MA em toda a empresa. Essa equipe foi escolhida pelo diretor-geral da fábrica e era composta por um coordenador geral, um técnico de programação e um técnico de suporte, ambos com habilidades em TI. O coordenador tinha a função de transmitir todos os regulamentos de implementação da MA, diretrizes, progresso dos eventos e o cronograma de implementação. O técnico de programação era responsável pela codificação do sistema de TI de cada setor de produção utilizando o sistema integrado de gerenciamento das atividades de planejamento e programação de manutenção. O técnico de suporte era responsável pela implementação deste sistema de TI e pelo treinamento de seus usuários, incluindo a implantação de *hardwares* para coleta de dados.

A segunda era a equipe de nível gerencial que monitorava o progresso do trabalho, o treinamento, fornecia as diretrizes de segurança, implementava e

coordenava o cronograma. Essa equipe era composta por um coordenador de setor da MA (ou seja, um engenheiro que coordena o plano de manutenção daquele setor), um engenheiro ou especialista com conhecimentos de mecânica e fluidos (por exemplo, óleo, graxa, água) e um engenheiro ou especialista em eletricidade, ou automação. Os engenheiros ou especialistas eram responsáveis pela preparação dos materiais do curso e pelo treinamento da equipe de execução.

Por fim, a terceira equipe era a de execução. Essa era composta por dois técnicos (ou seja, para as áreas de mecânica/fluidos e eletricidade/automação) e os operadores de produção (ou seja, nas bobinadeiras havia 4 operadores e 1 supervisor por turno). Os técnicos apoiavam os operadores nas atividades MA, preparavam os planos de inspeção, planejamento e execução das atividades de inspeção. Por outro lado, após o treinamento, os operadores realizavam atividades de MA, incluindo limpeza, lubrificação e inspeção de manutenção e pequenos reparos.

4.2.2

Preparação dos dados para a MA

No sistema TI da manutenção, é fundamental que constem todos os equipamentos no cadastrado em seu banco de dados, de forma que o sistema possa informar as atividades de manutenção a serem realizadas.

Nesse sentido, na preparação dos dados para a MA, o cadastro da instalação (equipamentos) seguiu o critério e a hierarquia estabelecidos pelo sistema TI da manutenção, considerando primeiro o cadastro do Sistema Operacional, em segundo a Unidade Operacional, em terceiro o Sistema Funcional e finalizando a Unidade Funcional. Vale ressaltar que o cadastro da instalação e dos itens de inspeção de ronda foi realizado a partir das informações dos manuais dos fabricantes (que, em geral, informam quais são componentes e peças de cada equipamento). A Tabela 3 ilustra um exemplo do cadastro da instalação.

Sistema operacional (SO) ⇒ Laminação
Unidade operacional (setor) ⇒ Bobinadeira 1
Sistema funcional 1 ⇒ Mandril
Unidade funcional 1.1 ⇒ Redutor
Unidade funcional 1.2 ⇒ Acoplamento
Unidade funcional 1.3 ⇒ Parafusos
Unidade funcional 1.4 ⇒ Pino graxeiro
Sistema funcional 2 ⇒ Motor principal
Unidade funcional 2.1 ⇒ Carcaça
Unidade funcional 2.2 ⇒ Base
Unidade funcional 2.3 ⇒ Caixa de ligação
Unidade funcional 2.4 ⇒ Aterramento

Tabela 3 - Hierarquia dos equipamentos.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma vez cadastrada e atualizada a instalação, o passo seguinte é a criação da lista técnica, que é composta por todas as atividades de inspeção de ronda. Nesse processo, as atividades que já estavam cadastradas foram revisadas e atualizadas. Além disso, foram criadas atividades para os novos equipamentos e para a operação. Para tanto, foram realizadas reuniões com a equipe gerencial e de execução, a fim de definir as atividades de manutenção que passariam a fazer parte da inspeção de ronda do operador. Estas atividades saíram das inspeções de ronda da manutenção e passariam para responsabilidade do operador.

4.2.3

O fluxo de informação e a tecnologia adotada

Para implementar a MA na empresa estudada, três sistemas de TI estavam basicamente envolvidos. A estrutura é apresentada na Figura 5. O primeiro é o sistema corporativo da organização (ERP), que integra todos os dados e processos da organização. O segundo é o Sistema TI da manutenção que integra o banco de dados de todas as atividades de planejamento e programação de manutenção. Finalmente, o novo coletor de dados digital, desenvolvido e implementado no decorrer do projeto MA, é uma unidade lógica de recebimento, execução e retorno das listas de atividades a serem realizadas nas inspeções de ronda incluindo as anotações feitas no chão de fábrica pela manutenção e operação durante as atividades de MA.

Com o coletor de dados, dois novos sistemas de TI foram implementados. O primeiro é o Ronda Serviço que é um aplicativo do coletor de dados instalado no servidor do banco de dados de TI da manutenção para comunicação com o coletor. O outro é o Ronda coletor de dados, um aplicativo instalado responsável pelo processamento dos dados durante a inspeção no chão de fábrica. O coletor de dados é uma unidade móvel de uso exclusivo do operador e do técnico de manutenção (Human Inspetor MA) para a realização das atividades de MA onde constam os itens de inspeção, os registros de anormalidades adjacentes (encontradas fora dos itens de inspeção), pontos de lubrificação e atividades de pequenos reparos.

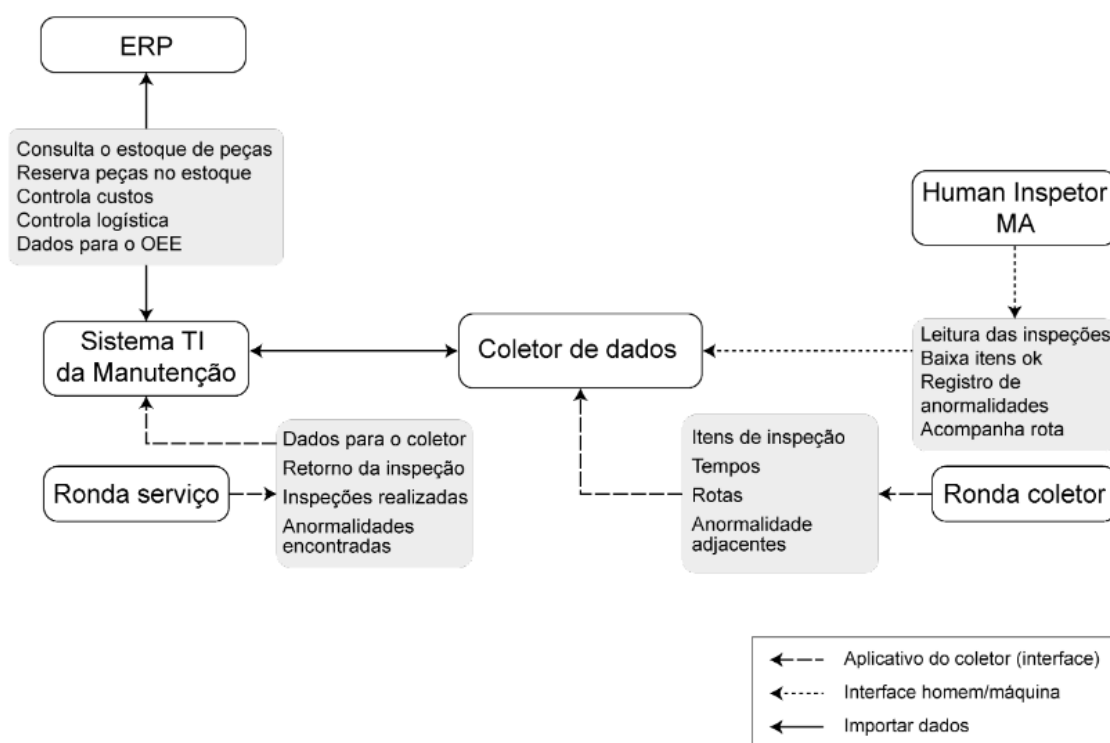


Figura 5 - Fluxo de informações de TI do coletor de dados.
Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 6 apresenta duas telas do coletor de dados, uma ilustrando um item de inspeção já realizada e outra com a anormalidade encontrada e resolvida pelo operador.

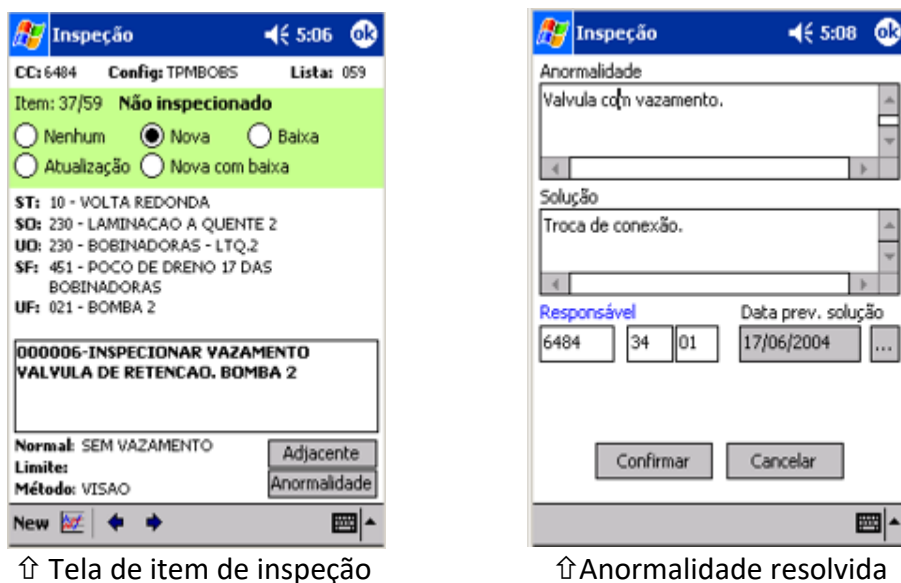


Figura 6 - Telas de inspeção de ronda pelo coletor de dados.
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.4

Treinamento

Dois treinamentos foram realizados, um primeiro teórico em sala de aula e um segundo no chão de fábrica, com a finalidade de combinar a teoria com a prática.

O treinamento teórico foi ministrado pelos Engenheiros Especialistas de cada função, com a participação da equipe de execução (operador e manutenção). Nessa fase do treinamento, a programação focou em nivelamento dos conhecimentos básicos nas especialidades de elétrica, mecânica, hidráulica (e.g., noções de eletricidade, como funciona um motor elétrico, funções e tipos de rolamentos). Após o nivelamento, os Engenheiros realizaram o treinamento específico do equipamento piloto nas mesmas especialidades, utilizando desenhos técnicos, especificações técnicas, engenharia, manuais do fabricante. Nesta fase houve a participação do Engenheiro especialista da produção para realizar o treinamento de operação deste equipamento (funcionamento, calibração e setup).

O treinamento no chão de fábrica foi realizado no equipamento piloto onde o processo de aprendizado foi completado. Ministrado pelas equipes de nível gerencial e de execução, esse treinamento teve como finalidade conhecer, na prática, o que se aprendeu em sala de aula. Foram oportunidades para se praticar os itens de inspeção de ronda e realizar pequenas intervenções, tais como a

lubrificação de equipamentos. Além disso, o reconhecimento de ruídos, a medição de vibrações e temperatura e a leitura de instrumentos foram ensinados e praticados.

Com o desafio de transformar o conhecimento tácito em explícito na organização, buscou-se o compartilhamento do conhecimento entre os mais experientes da manutenção com os operadores de produção, surgindo um ambiente de motivação.

4.2.5

O pós-implementação

Ao final do processo de implementação da MA, especificamente após a Etapa 4 (vide Tabela 1), a equipe de implementação realizou a operação assistida para apoiar o operador da MA. Essa operação, que se deu durante os oito primeiros dias de realização da inspeção de ronda no chão de fábrica, foi realizada para garantir o funcionamento do sistema TI coletor de dados, seus aplicativos (ronda serviço e ronda coletor) e todas as rotinas inerentes a MA.

Ao término desta operação, durante uma reunião com todos os envolvidos nesse projeto, oficializou-se o *modus operandi* da MA. Na ocasião foram definidas as atividades de rotina diária, conforme a programação proposta na Tabela 4.

Item	Descrição	Participante
1	Atividades de inspeção de ronda pela operação, 1 vez por turno, 3 vezes ao dia.	Equipe de execução da operação.
2	Atividades de inspeção de ronda pela manutenção do turno, 1 vez por turno, 3 vezes ao dia.	Equipe de execução da manutenção (turno).
3	Atividade de inspeção de ronda pela manutenção do horário administrativo, 1 vez por dia (exceto fins de semana e feriado).	Equipe de execução da manutenção.
4	Reunião diária para análise das atividades de inspeção de ronda, verificação das anormalidades e indicadores de atividades.	Equipe de execução da manutenção e operação com Gerente Manutenção.

Tabela 4 - Rotinas diárias de operação da Manutenção Autônoma.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além das atividades diárias, três tipos de eventos também foram planejados. Trata-se de: (i) reuniões mensais, coordenadas pela Equipe nível gerencial, com objetivo de avaliar os indicadores de OEE e os indicadores das inspeções de ronda (itens programados e realizados, anormalidades encontradas e resolvidas), (ii)

auditorias trimestrais, coordenadas pela Equipe de nível gerencial conforme Etapa 5 e (iii) reciclagem anual de treinamentos conforme Etapa 2 e 3, coordenada pela Equipe de nível gerencial.

4.3

Impactos registrados

De modo a apurar dados e opiniões, os impactos avaliados nesta subseção são tanto de natureza quantitativa quanto qualitativa. Dessa forma, é possível obter informações que ajudem a interpretar compreender a razão dos acontecimentos para perceber quais medidas podem ser melhor aplicadas. Alguns impactos foram mensurados logo após a implementação e outros alguns meses à frente, definido a importância de se apurar não só a quantitativa, mas sim a qualitativa onde se obteve informações sobre as motivações, pensamentos e atitudes das pessoas.

4.3.1

Impactos quantitativos

Esta subseção organiza os impactos quantitativos em (i) aumento no número de itens inspecionados e anormalidades resolvidas, (ii) redução no tempo de preparação das atividades de inspeção, (iii) aumento da confiabilidade operacional dos equipamentos (OEE), (iv) redução de custos com peças sobressalentes, (v) redução da logística de peças em estoque, e (vi) eliminação no consumo de papel/tinta para a impressão das inspeções de ronda. Estes impactos são descritos a seguir.

Aumento no número de itens inspecionados e anormalidades resolvidas

Os impactos quantitativos resultantes deste trabalho apresentaram resultados positivos já durante os primeiros 8 dias de inspeção de ronda com o coletor de dados. Dentro desses dias, os operadores de MA inspecionaram mais de 1200 itens, resolveram 18 anormalidades urgentes, programaram outras 42 para manutenção preventiva (consideradas não urgentes) e identificaram 10 anormalidades adjacentes (anormalidades fora da lista de ronda).

Redução no tempo de preparação das atividades de inspeção

Além disso, ocorreu uma redução anual de 75% no tempo de preparação das atividades de inspeção e uma redução de 35% no tempo gasto na ronda de inspeção MA, disponibilizando a equipe executante para as atividades de manter.

Aumento da confiabilidade operacional dos equipamentos (OEE)

Devido à implementação do MA nas bobinadeiras, a taxa de utilização nos três primeiros anos do processo de laminação teve um excelente ganho, passando de 93,8% para 97,12%. Este acréscimo de 3,32% representou uma boa recuperação em capacidade de recursos na produção.

Redução de custos com peças sobressalentes

Ocorreu uma redução anual significativa de custos com peças sobressalentes entre 15 a 20%, incluindo diminuição de estoques de peças sobressalentes e em movimentação logística.

Redução da logística de peças em estoque

Houve uma redução anual significativa na logística com peças sobressalentes entre 18 a 22%, incluindo diminuição de movimentação peças para reparos.

Eliminação no consumo de papel/tinta para a impressão das inspeções de ronda

Com os aplicativos do coletor de dados eliminou-se a impressão em papel e automatizou todas as etapas do sistema de inspeção e programação da MA. Estima-se uma redução de 2.000 folhas papel ofício mês.

4.3.2

Impactos qualitativos

Esta subseção organiza os impactos qualitativos em (i) Visão sistêmica no gerenciamento das atividades de inspeção de ronda, (ii) Mais autonomia e confiança por parte da equipe técnica, (iii) Melhoria na capacidade de análise e na comunicação dos problemas, e (iv) Transformação do conhecimento tácito em corporativa. Estes impactos são descritos a seguir.

Visão sistêmica no gerenciamento das atividades de inspeção de ronda

O sistema de tecnologia desenvolvido na programação dos coletores de dados, permite que na realização da inspeção de ronda se registre o tempo das atividades de forma sistêmica. Esta tecnologia armazena em seu banco de dados

exatamente a hora em que o inspetor passou pelo equipamento assim como o tempo de duração de cada inspeção. O histórico no banco de dados está sendo utilizado, pela equipe de manutenção, no planejamento das inspeções, na análise de melhorias de rotas e apresentação nas reuniões de avaliação.

Mais autonomia e confiança por parte da equipe técnica

Uma das principais formas de motivar a equipe é fornecendo autonomia, para que possam executar suas tarefas, porém, essas atividades devem ser conduzidas de maneira segura de modo a alcançar as melhores práticas. Os treinamentos realizados trouxeram as equipes a confiança em buscar cada vez mais conhecimento e domínio nos equipamentos. Alguns ganhos nas ações dos colaboradores foram destacados nos primeiros anos da implementação. As equipes se tornaram motivadas, com conhecimento e domínio dos equipamentos, buscando sempre a análise e solução de problemas.

Melhoria na capacidade de análise e na comunicação dos problemas

Em relação ao aprendizado, outros dois aspectos foram observados em relação a atitude das equipes: a análise mais detalhada dos problemas com os equipamentos de produção e o processo de enriquecimento da linguagem técnica. Com o domínio do funcionamento dos equipamentos, os operadores passaram a saber fazer análises mais detalhadas dos problemas, das previsões de anormalidades e dos limites dos equipamentos. Quanto a linguagem técnica, dois fatores foram importantes. Primeiro foi a comunicação mais precisa entre a operação e a manutenção, de forma que os prognósticos passaram a ser feitos em parceria. Segundo, na passagem de turno, um operador ao ser substituído passou a comunicar de forma mais objetiva sobre as condições dos equipamentos, facilitando a tomada de decisão.

Transformação do conhecimento tácito em corporativo

Durante os treinamentos presencial e no chão de fábrica, que foi um dos momentos dentro do projeto em que houve troca de conhecimento entre os funcionários, os operadores reciclaram seus conhecimentos e aprimoraram suas atividades nas tarefas habituais. Neste ambiente, a gestão do conhecimento na organização, e como efeito a educação corporativa conseguiram aproveitar os recursos já existente para serem empregados de maneira prática. Com o desafio de transformar o conhecimento tácito em explícito na organização, buscou-se o compartilhamento do conhecimento entre os mais experientes da manutenção com

os operadores de MA. Utilizando a gestão do conhecimento a organização, através do compartilhamento, a visão dos objetivos e as metas a serem alcançadas na educação corporativa sustentou diretamente o capital intelectual, ajudando a tomarem decisões certas e a se sobressaírem dia a dia.

5

Discussões e lições aprendidas com a perspectiva HTO

A implementação bem-sucedida do MA no contexto estudado forneceu lições interessantes que abrangeram as dimensões HTO. Essas lições são discutidas neste capítulo e organizadas em três tópicos que destacam as interações dentro dessas dimensões. A intenção é de reforçar a necessidade de uma perspectiva holística das dimensões do HTO ao conduzir uma implementação MA.

A Figura 7 apresenta o framework proposto HTO - MA, que resume as interações desarticuladas dentro desta seção.

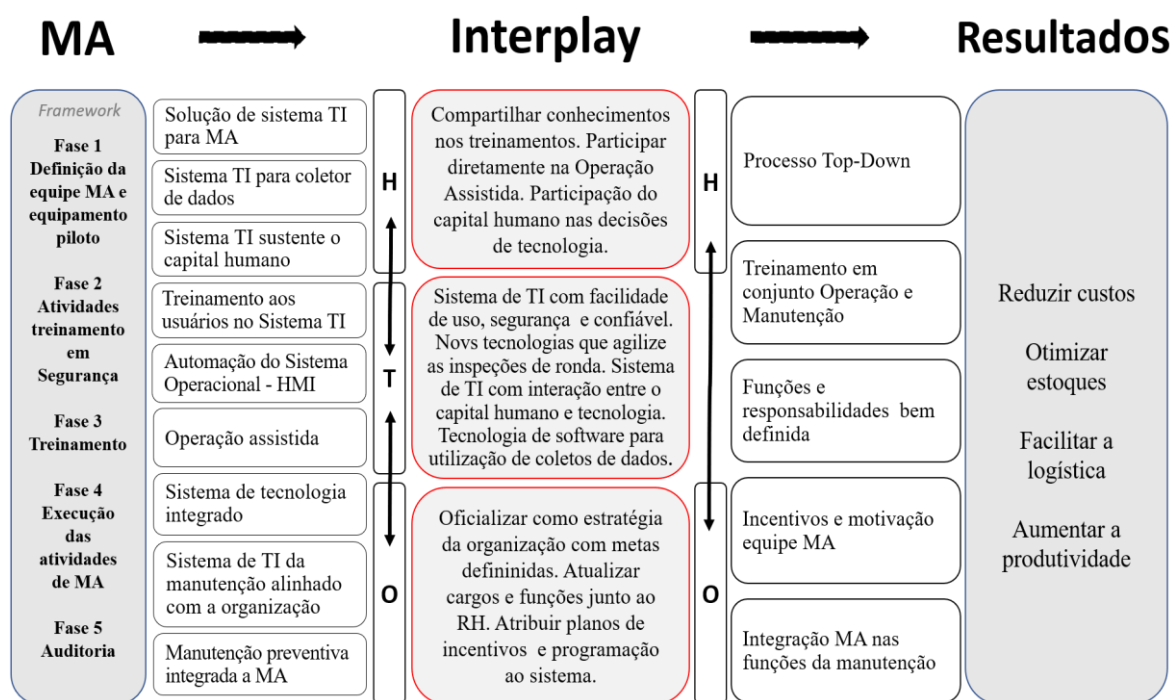


Figura 7 - Framework HTO-MA: dimensões e sua interação.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1

HT Interplay

Lição 1: Uma solução de TI personalizada para MA deve ser desenvolvida para garantir a aderência à complexidade do contexto industrial.

A disponibilidade de uma nova solução não garante sua aceitação. Neste sentido, foi essencial envolver os técnicos de manutenção e operadores de cada área

operacional no processo de validação da solução de TI (ou seja, o coletor de dados e o sistema de manutenção) desenvolvida para suportar a MA. Han et al. (2004) nesse contexto, apontam que a TI, utilizada nas configurações operacionais, foi aplicada para transformar e respaldar o comportamento dos empregados no trabalho. Por outro lado, de acordo com McAfee et al. (2012) os sistemas de TI que proporcionam melhor coleta e análise de dados, facilidade de projeto e interação aos usuários, estão incentivando as empresas a inovar em suas estratégias de customização na economia digital.

Lição 2: Um sistema móvel utilizando coletor de dados com aplicação para uso nas inspeções de ronda deve ser adotado.

As inspeções de MA pelos operadores e técnicos de manutenção passaram a ser realizadas utilizando-se um coletor de dados, com a tecnologia desenvolvida para aplicação e uso nestas atividades. O desenvolvimento das funções de operação do coletor deverá atender às necessidades do sistema TI da manutenção, de forma que o coletor seja de fácil utilização pelos usuários no chão de fábrica. Isso corrobora Han et al. (2004), que destacam a importância na adoção da tecnologia móvel no aumento da produtividade e do desempenho do trabalhador.

Lição 3: O sistema tecnológico apresentou um efeito positivo sobre o desenvolvimento do capital humano.

Particularmente dentro desta pesquisa-ação, os operadores de manutenção adquiriram uma capacidade técnica para usar o sistema de TI (por exemplo, ao executar as rondas de inspeção com os coletores de dados) e para operar os sistemas de automação dos equipamentos. Além disso, o processamento rápido do pensamento, a tomada de decisões e a resolução de problemas foram habilidades desenvolvidas e melhoradas durante os eventos de treinamento e inspeção de ronda. Os técnicos adquiriram novas habilidades para lidar com a estrutura agora integrada do sistema de manutenção e suas interfaces com o coletor de dados e o sistema ERP. Isso está de acordo com Bessen (2017) e Funda (2019) onde o exemplo dado pelos referidos autores justifica que a introdução da tecnologia no interior das organizações bem-sucedidas desempenha um papel importante nos recentes aumentos da produtividade do capital humano.

Lição 4: O treinamento dos usuários com a equipe de TI e com seus equipamentos deve ser realizado.

O treinamento dos usuários (operador e manutenção) com a TI e com os equipamentos, para um uso melhor e ampliação da incorporação das diferentes funcionalidades da tecnologia é importante e se faz necessário. Às vezes a tecnologia disponível é muito sofisticada e o operador – por falta de conhecimento – usa apenas uma fração do que poderia ser utilizado, e o risco de procurar outras alternativas de uso pode ocorrer, mas deve ser evitado.

Durante a fase de projeto de TI, que consiste em atividade de programação e formação do banco de dados, inclui-se treinamento dos operadores para conhecerem o sistema e realizarem pequenas manutenções. Markus e Tanis (2000) afirmam que os treinamentos nesta fase são importantes para se obter o sistema instalado, funcionando e operando. Ross e Vitale (2000) destacam que os treinamentos dos usuários são importantes para que na fase de funcionamento do sistema de TI resolvam *bugs* no software.

Lição 5: Utilizar a interface homem-máquina (HMI) para evoluir na automação do sistema operacional.

A tecnologia influencia no processo de operação dos equipamentos, aprimorando o conhecimento do operador da MA; já o sistema de interface cuida da automação do processo de produção, mas de forma a ainda permitir interação entre homem e máquina, através da HMI (interface homem-máquina); como o próprio nome sugere, tem a função de tornar possível a comunicação do homem com a máquina, o que poderíamos considerar uma conversa entre operador e equipamento. O operador informa o que ele deseja e o sistema de Tecnologia de Automação (TA) responde se executou ou não o seu pedido, bem como informa se a máquina está pronta para entrar em operação ou não. Pasmore (1988, apud Berglund e Karlton, 2007) destaca em seu artigo que existem influências entre a tecnologia e o comportamento humano na produtividade.

Até onde sabemos, esta é a primeira pesquisa de ação em MA que inclui um sistema de tecnologia de automação com interface homem-máquina indicando uma carência da literatura de OM na MA.

5.2

HO Interplay

Lição 6: A implementação do MA deve ser um processo de cima para baixo.

Nesta pesquisa-ação, o diretor da fábrica lançou formalmente o programa de implementação MA. As regras foram definidas por ele para orientar este processo. Ele designou uma equipe oficial de implementação ligada diretamente a ele que era responsável pela condução de todos os projetos MA na empresa. Esta equipe executou as diretrizes da MA para todos os gerentes das áreas industriais. Através desta estratégia, a organização (O) foi capaz de divulgar de forma coordenada os objetivos do projeto a todos os funcionários (H). Esta abordagem está alinhada com Min et al. (2011), que destacam a importância do envolvimento e do apoio da alta gerência, com Slack et al. (2002), que sugerem estratégias de implementação de processo de mudança *top-down*, e com Ahmadi et al. (2014) que apontam a importância do apoio da alta direção para propor e implementar mudanças.

Lição 7: O treinamento da equipe em manutenção e operação nos equipamentos deve envolver todos os operadores e técnicos de manutenção juntos.

O compartilhamento de conhecimentos entre esses participantes durante os eventos de treinamento foi crucial para superar as barreiras e garantir a eficiência da implementação da MA. Nesta ocasião, os operadores e técnicos de manutenção trocaram informações e habilidades sobre questões de manutenção e operação. Para a organização, esta apreensão e compartilhamento de conhecimento facilitaram a solução de problemas e melhoraram o desempenho geral do processo. Isto concorda com Min et al. (2011) que afirmam que as atividades da MA precisam ser implementadas para aumentar o conhecimento e a conscientização entre os operadores de produção e os técnicos de manutenção. De acordo com Kulkarni e Dabade (2013) o processo de compartilhamento de conhecimento com operadores e manutenção promovem uma cultura de domínio e segurança entre eles e todos na organização.

Lição 8: As funções e responsabilidades devem ser definidas em consenso entre os membros da equipe e dentro de um processo de implementação MA.

As equipes de nível gerencial e técnico foram definidas em concordância entre os gerentes de operação e manutenção, e suas respectivas funções foram formalizadas. Nem todos os operadores são inspetores, mas todos os novos inspetores se tornaram operadores. É importante diferenciar estes operadores com uma nova posição como operadores mantenedores da MA. Min et al. (2011) e Chan et al. (2005) destacam ser fundamental que a implementação da MA comece com uma composição bem definida da equipe. De acordo com Chan et al. (2005) os funcionários da gerência devem ser selecionados para formar duas equipes principais, a equipe de manutenção autônoma e a equipe de melhoria de projeto.

Lição 9: A organização deve motivar as equipes da MA, fornecendo apreciação e reconhecimento.

No contexto estudado, este processo motivacional começou durante os eventos de treinamento, quando foi demonstrado aos operadores a importância de adquirir novas habilidades para alcançar resultados e sucesso profissional na organização. Além disso, os projetos e atividades bem avaliados nas auditorias de MA foram reconhecidos pela organização. Este reconhecimento foi disseminado por todo o chão de fábrica através de um sistema de gerenciamento visual e reuniões internas. Em resumo, um sistema de incentivo que reconhece adequadamente as atividades da equipe é essencial para o sucesso de um projeto de implementação MA. Kulkarni e Dabade (2013) afirmam que o processo de compartilhamento de conhecimento com operadores e a manutenção promove uma cultura de propriedade entre eles. Esta cultura está relacionada ao aumento do moral dos funcionários e também à satisfação e motivação no trabalho.

Lição 10: As funções especializadas da manutenção devem se integrar às atividades da MA.

As funções especializadas (item 4.1.2 abrange logística e manutenção), que fazem parte da estrutura organizacional da manutenção, devem se incorporar nas atividades dos operadores da MA, contribuindo com recursos técnicos nas realizações das inspeções de ronda e em pequenos reparos, no controle e dos componentes na linha de produção e na realização da disponibilidade e movimentação de peças disponíveis para intervenções da MA. De acordo com

Souza (2008), a gestão da manutenção está relacionada em um conjunto de ações para gerir os recursos fornecidos para função manutenção e serviços que são aguardados pela função operação.

5.3

TO Interplay

Lição 11: Após a implementação da MA, uma fase de operação assistida deve ser conduzida.

A realização da operação assistida foi importante para confirmar se o processo de implementação do MA foi de fato concluído. A presença da equipe de implementação, acompanhando por oito dias ininterruptos as inspeções de rondas e suas ações junto aos sistemas de TI da manutenção e do coletor de dados, consolida a implementação da MA. Isto é apoiado por Han et al. (2004) que destacam que manter um projeto operando de modo seguro, após a sua implementação, é importante para os resultados operacionais da organização. Além disso, Carvalho et al. (2014) destacam a importância de se ter uma equipe interna e de se ter o suporte de uma equipe externa para garantir a continuidade e resolver problemas de tal forma que se mantenha a continuidade do projeto. Na medida do nosso conhecimento, esta é a primeira pesquisa de ação em MA que inclui uma fase de operação assistida após a implementação de MA.

Lição 12: Uma operação de manutenção eficiente exige sistemas tecnológicos integrados.

A ideia principal é que as aplicações de *software* devem facilmente compartilhar informações, através de um banco de dados integrado. No contexto estudado, o sistema ERP não foi explicitamente projetado para atender adequadamente às necessidades das funções de manutenção. Portanto, o sistema de manutenção proposto conecta os dados de manutenção do chão de fábrica ao banco de dados do ERP, uma vez que ele se comunica tanto com o coletor de dados quanto com o ERP. Isto está de acordo com Stadtler e Kilger, (2005) em que a integração dos sistemas de TI, a qualidade, os dados básicos, e o modelo do projeto são importantes nesse contexto. O sistema ERP modela as informações e alimenta o sistema externo de TI com resultados operacionais (Stadtler e Kilger, 2005). Para

ser utilizado com sucesso, é importante que um sistema externo de TI (por exemplo, sistema TI da Manutenção) esteja integrado ao sistema ERP na infraestrutura de TI (Wiers, 2002; Günter, 2005; Viswanathan, 2010), onde o sistema ERP funciona como “sistema líder” na integração dos sistemas de TI.

Lição 13: A MA deve contribuir para alinhar a manutenção aos objetivos da organização.

As metas para a implementação da MA são reduzir a quebra de máquinas e os custos de manutenção. A implementação da MA é suportada por sistemas de TI de manutenção que capturam a taxa de paradas de máquinas e os dados de entrada para o cálculo do custo de manutenção. Isto é essencial para o planejamento geral do negócio e para a estimativa do índice OEE. Chandran (2015) informa que o OEE é um indicador que aponta todas as perdas causadas por mau funcionamento do equipamento relacionadas à eficiência, disponibilidade e qualidade.

Lição 14: A MA contribui para manutenção preventiva com resultados das inspeções de ronda via coletor de dados.

Por ser uma manutenção planejada, a programação das atividades a serem realizadas na manutenção preventiva estão em sua maior parte com as anormalidades encontradas nas inspeções de ronda. A partir das informações das anormalidades cadastradas no sistema TI da manutenção, define-se a priorização dos serviços, com o objetivo de se obter maior eficiência na otimização dos recursos disponíveis e na previsão de consumo de materiais, aprimorando a logística interna e a previsão de custos. Isto é apoiado por Ramirez et al. (2002), Kardec e Nascif (2006) e Chandran (2015) que destacam que um programa de manutenção preventiva bem implementado se traduz em redução de inatividade do equipamento, redução de custos e aumento de produtividade.

Conclusão

A implementação da MA envolve muitas tarefas e requer esforços, tais como planejamento, execução e melhoria das bases de manutenção. Esta dissertação aborda uma lacuna na prática da pesquisa em relação à falta de estudos acadêmicos que ofereçam soluções para ajudar a indústria a implementar com sucesso o MA. Em resposta à pergunta se é possível oferecer uma solução prática para implementar a MA com as dimensões HTO, a dissertação inova com a introdução da abordagem HTO dentro de uma estrutura MA, oferecendo assim uma solução prática para profissionais com implicações para pesquisadores em OM, o que é possibilitado por uma pesquisa-ação realizada em uma laminação. Um *framework* incorporando esta abordagem foi desenvolvido e posteriormente aplicado à empresa do estudo, oferecendo uma orientação sistemática para auxiliar seu nível de gestão na implementação da prática da MA. Como resultado, a empresa pôde obter melhorias no desempenho da produção, reduziu quebra de máquinas e ampliou sua taxa de utilização. Os resultados da pesquisa indicam a aderência das dimensões HTO para corresponder aos desafios de implementação MA e reforçam a necessidade de uma perspectiva holística e combinada dessas dimensões para o desenvolvimento de negócios. Os profissionais da indústria podem se beneficiar das lições aprendidas com esta pesquisa-ação e do *framework* oferecido para auxiliar a implementação da MA em suas operações. A dissertação também oferece catorze lições apreendidas que são agrupadas de acordo com as interrelações das dimensões HTO.

Como os resultados da pesquisa são limitados a uma única empresa, são sugeridos estudos adicionais abrangendo diferentes empresas para ampliar o poder de generalização dos resultados da pesquisa. No futuro a pesquisa também deve abranger outras áreas, com vistas à integração da MA com outras abordagens de manutenção que são mais técnicas, como Manutenção baseada no tempo – TBM, Manutenção baseada em condições – CBM, Manutenção centrada em confiabilidade – MCC e WCM (*World Class Manufacturing*). Adicionalmente, em pesquisas futuras, sugere-se abordar as seguintes questões: (i) integração das perspectivas de *bottom-up* (de baixo para cima no organograma) com a abordagem da MA no processo interno de formação da estratégia de operações; e (ii) inclusão

de tecnologia digital e realidade aumentada, apontados neste trabalho, nos treinamentos e sistemas de manutenção.

Referências bibliográficas

- AHMADI, H.; RAD, M. S.; NAZARI, M.; NILASHI, M.; IBRAHIM, O. Evaluating the factors affecting the implementation of Hospital Information System (HIS) using AHP method, **Life Science Journal**. v.11, n.3, p.202-207, 2014.
- AHUJA, I. P. S.; KHAMBA, J. S. Strategies and success factors for overcoming challenges in TPM implementation in Indian manufacturing industry. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v.14, n.2, p. 23-147, 2008.
- AHUJA, I. P. S.; KUMAR, P. A case study of total productive maintenance implementation at precision tube mills. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v.15, p. 241-58, 2009.
- ALSEARI, A.; FARRELL, P. Technical and operational barriers that affect the successful total productive maintenance (TPM) implementation: case studies of **Abu Dhabi Power Industry**. Ed. Springer International Publishing, v.23, n.2, 2020.
- BESSEN, J.E., Industry Concentration and Information Technology (December 1, 2017). **Boston Univ. School of Law, Law and Economics Research Paper No. 17-41**, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3044730>.
- BEN-DAYA, M.; DUFFUA, S. O.; RAOUF, A.; KNEZAVIC, J.; AIT-KADI, D. **Handbook of Maintenance Management and Engineering**, Springer-Verlag Dordrecht Heidelberg London New York, ISBN 978-1-84882-471-3 e-ISBN 978-1-84882-472-0 DOI 10.1007/978-1-84882-472-0, 2009.
- BERGLUND, M.; KARLTUN, J. Human, technological and organizational aspects influencing the production scheduling process. **International Journal of Production Economics**, v.110, p.160-174 LSEARI, 2007.
- BUINUS, M. **Design for maintenance: An interview-based survey**. Master Thesis Work (PPU503) School of Innovation, Design and Engineering, Advanced level Product and process development Production and Logistics Commissioned by: Mälardalen University Tutor (home University): Prof. Dr. rer. nat. Stephan Jacobs, 2015.
- CARVALHO, A. N.; SCAVARDA, L. F.; LUSTOSA, L. Implementing finite capacity production scheduling: lessons from a practical case. **International Journal of Production Research**, v.52, n.4, p.1215-1230, 2014.
- CARVALHO, A. N.; OLIVEIRA, F.; SCAVARDA, L. F. Tactical capacity planning in a real-world ETO industry case: an action research. **International Journal of Production Economics**, v.167, p.187-203, 2015.
- CHAN, F. T. S.; LAU, H. C. W.; IP, R. W. L.; CHAN, H. K.; KONG, S. Implementation of total productive maintenance: A case study, **International Journal of Production Economics**, v.95, n.1, p.71-94, ISSN 0925-5273, 2005.

- CHANDRAN, S. TPM implementation approach. **Journal of Industrial Engineering and Management**, publication 279059214, 2015.
- COUGHLAN, P.; COUGHLAN, D. Action research for operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 220–240, 2002.
- DANIELLOU, F. Epistemological issues about ergonomics and human factor. **International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors**, Taylor & Francis, London and New York, n.2, p.43 46, 2001.
- DEMING, W.E. Out of the Crisis, 9th ed. MIT, Cambridge, MA, 1992.
- ENDRENYI, J. The present status of maintenance strategies and the impact of maintenance on reliability, power Systems. **IEEE Transactions**, v.16, n.4, p.638-646, 2001.
- EKLUND, J. An extended framework for humans, technology and organization in interaction, In: Luczak, H. and Zink, K.J., (Eds.). Human Factors in Organizational Design and Management - **VII. Re-Designing Work and Macro ergonomics – Future Perspectives and Challenges**. IEA Press, Santa Monica, California, p.47-54,2003.
- ETI, M. C.; OGAJI, S. O. T; PROBERT, S. D. Implementing total productive maintenance in Nigerian manufacturing industries. **Applied Energy**, v.79, p.385–401, 2004.
- FUNDA, V. N. Impact of Information Technology on Knowledge Management at a Selected University of Technology. **Cape Peninsula University of Technology**. Distric Six Campus. p.154, 2019.
- GUNTER, H. P. Supply Chain Management and Advanced Planning Systems: A Tutorial, Physica-Verlag HD, Heidelberg. 2005.
- GUTIERREZ, D. M.; SCAVARDA, L. F.; FIORENCIO, L.; MARTINS, R. A. Evolution of the performance measurement system in the Logistics Department of a broadcasting company: An action research. **International Journal of Production Economics**, v.160, p.1-12, 2015.
- HAN, S. P.; SEPPANEN, M.; KALLIO, M. **Physicians' behavior intentions regarding the use of mobile technology: an exploratory study'**, AMCIS Pacific Asia Conference on Information Systems at AIS Electronic Library (AISeL), Shanghai, China, 2004.
- KARDEC, A.; NASCIF, N. Manutenção Função Estratégica.2. ed.3.reimp. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006.
- KAKIHARA, M.; SORENSEN, C. Post-Modern' Professional Work and Mobile Technology, In Proceedings of IRIS-25, 2002, Denmark.
- KARTUN, A. **Forskarstött arbetet i själva verket – Att förbättra arbetssituationen för 15 000 brevbärare**. Dissertation. n. 1122. Avdelningen för industriell arbetsvetenskap. Institutionen för ekonomisk och industriell utveckling. Linköpings Universitåt, 2007.
- KIM, Y.E; STING, F.J.; LOCH, C.H. Top-Down, Bottom-Up, or Both? Toward an Integrative Perspective on Operations Strategy Formation, In Press, **Journal of Operations Management**. JOM Web site DOI: 10.1016/j.jom 09.005, 2014.
- KRISTENSEN, J.; JONSSON, P. Context-based Sales and Operations Planning (S&OP) research: A literature review and future agenda.

International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, v.48, n.1, p.19–46, 2018.

KULKARNI, A.; DABADE, B. M. Investigation of Human Aspect in Total Productive Maintenance (TPM): Literature Review. **International Journal of Engineering Research and Development**, v.5, n.10, p.27-36, 2013.

LABIB, A. World-class maintenance using a computerized maintenance management system. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v.4, n.1, p. 66–75, 1998.

LAZIM, H. M.; RAMAYAH, T. Maintenance strategy in Malaysian manufacturing companies: a total productive maintenance (TPM) approach. **Business Strategy Series**, v.11, n.6, p.387-396, 2010.

LEVITT, J. Making Preventive Maintenance Really Work For You, Charlotte NC, TWI Press Inc., 1998.

LOURES, P. C.; SCAVARDA, L. F.; CARVALHO, A. R. N. Framework for implementation of autonomous maintenance with the HTO approach. In: Thomé A.M.T., Barbastefano R.G.; Scavarda L.F.; dos Reis J.C.G.; Amorim M.P.C. (eds). (Org.). **Springer Proceedings in Mathematics & Statistics**. 337ed.: Springer International Publishing, 2021 (in press).

MARKUS, M.L; TANIS, C. **The enterprise systems experiences – from adoption to success**. In Framing the Domains of IT research: Glisping the Future Through the Past, Zmusd, R.W (ed) (Pinnaflex Educational Resources, Cincinnti. OH), 173-207. Corpus ID10316988, 2000.

McAFEE, A.; BRYNJOLFSSON, E.; DAVENPORT, T. H.; PATIL, D. J.; BARTON, D. Big data: The management revolution. **Harvard Business Review**, v.90, n.10, p.60-68, 2012.

MCKONE, K. E.; SCHROEDER, R. G.; CUA, K. O. The impact of total productive maintenance practices on manufacturing performance, **Journal of Operations Management**, v.19, n. 1, p. 39–58, 2001.

MIN, C. S.; AHAMAD, R.; KAMARUDDIN, S.; AZID, A. I. Development of autonomous maintenance implementation framework for semiconductor industries. **International Journal of Industrial and Systems Engineering**, v. 9, n. 3, p. 268-297, 2011.

MUGWINDIRI, K.; MBOHWA, C. **Availability performance improvement by using autonomous maintenance: the case of a developing country, Zimbabwe**, World Congress on Engineering, July, England, 2013.

MUSMAN, A.H.; AHMAD, R. Critical Component Identification and Autonomous Maintenance Activities Determination Using Fuzzy analytical hierarchy process method. **International Journal of Industrial and Systems Engineering**, v. 28, n. 3, p. 360-378, 2018.

NETO, A.R. Pesquisa Descritiva da Inovação Tecnológica para Simulação em Realidade Virtual e Aumentada sob a Perspectiva da Indústria 4.0 e os Sistemas Virtuais de Produção / Rio de Janeiro: **UFRJ/COPPE Programa de Engenharia Civil**, XV, p.306, 2018.

NORDLOF H.; WIITAVAARA, B.; WINBLAD, U.; WIJK, K.; WESTERLING, R. Safety culture and reasons for risk-taking at a large steel-manufacturing company: Investigating the worker perspective. **Safety Science**, v.73, p.126–135, 2014.

O'BREIN, R. **An Overview of the Action Research**. Faculty of Information Studies, University of Toronto, 1998.

OGÉN, O. **Examensarbete inom Ergonomi och MTO**, avancerad nivå, 15 hp KTH STH Campus Flemingsberg Examensrapport, 2011.

PASMORE, W. A. **Designing Effective Organizations. The Sociotechnical Systems Perspective**. Wiley Series on Organizational Assessment and Change, New York, John Wiley, 200 p., ISBN 0-471-88785-4, 1988.

RAHEJA, D.; LLINAS, J.; NAGI, R.; ROMANOWSAKI, C. Data fusion/data mining based on architecture for condition based maintenance. **International Journal of Production Research**, v.44, n.14, p. 2869-2887, 2006.

RAJESH, A.; SANDEEP, G.; NIKHIL, D.; DEEPAK, K. Analysis of barriers of Total Productive Maintenance (TPM). **International Journal of Systems Assurance Engineering and Management**, v.4, n.4, p.365-377, 2012.

RAMIREZ, E. F. F.; CALDAS, E. C.; SANTOS Jr., P. R. **Manual Hospitalar de Manutenção Preventiva**. Londrina: Editora UEL, 2002.

RELKAR, A. S.; NANDURKAR, K. N. Optimizing & Analyzing Overall Equipment Effectiveness (OEE) Through Design of Experiments (DOE). **International conference on modeling optimization and computing**, Procedia Engineering, v.38, p.2973–2980, 2012.

ROSS, W.R.; MICHAEL, R.V. The ERP Revolution: Surviving vs. Thriving, **Information Systems Frontier**, v. 2, n. 2, p. 233-241, 2000.

SHARMA, K.R.; KUMAR, D.; KUMAR, P. Manufacturing excellence through TPM implementation: a practical analysis, **Industrial Management and Data Systems**, v.106, p.256–280, 2006.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 703 p., 2002.

SOUZA, J. B. **Alinhamento das estratégias do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) com as finalidades e função do Planejamento e Controle da Produção (PCP): Uma abordagem Analítica**. 2008. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa.

STADTLER, H.; KILGER, C. **Supply Chain Management and Advanced Planning-Concepts, Models, Software and Case Studies**, 3rd ed., Springer, Berlin. 2005.

SWANSON, L. L. Maintenance strategies to performance, Elsevier, **International Journal of Production Economics**, v.70, n.3, p.237–244, 2001.

THONG, J. Y. L.; YAP, C. S. CEO characteristics, organizational characteristics and information technology adoption in small businesses, **Omega**. v.23, n.4, p.429–442, 1995.

VISWANATHAN, N. Sales and Operations Planning: Strategies for Managing Complexity within Global Supply Chains, **Aberdeen Group Publications**, Boston, MA., USA, 2010.

VIZZON, J. S.; SCAVARDA, L. F.; CERYNO, P. S.; FIORENCIO, L. Business process redesign: an action research. **Gestão & Produção**, v.27, n.2, 2020.

WIERS, V. C. S. A case study on the integration of APS and ERP in a steel processing plant, **Production Planning and Control**, v.13, n.6, p. 552-560, 2002.

ZHONGWEI, W.; QIXIN, C. Development of an autonomous in-pipe robot for off-shore pipeline maintenance. **International Journal of Robotics and Automation**, v.37, n.2, p.177-184, 2010.

ZHU, K.; KRAEMER, K. L.; DEDRICK, J. Information technology payoff in e-business environments: an international perspective on value creation of e-business in the financial services industry, **Journal Management Science Informs Systems**. v.21, n.1, p. 17–54, 2004.