

# A ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 COM A GESTÃO DA INFORMAÇÃO E FERRAMENTAS DA QUALIDADE: UM ESTUDO DESTA COMBINAÇÃO APLICADA À INDÚSTRIA PAPELEIRA TISSUE

**Autores:** Sergio RAISER (Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção, Centro Universitário Sociesc – UniSociesc, Joinville, Brasil) sergio.raiser@gmail.com

Marco Aurélio de OLIVEIRA (Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção, Centro Universitário Sociesc – UniSociesc, Joinville, Brasil) marco.aurelio@unisociesc.com.br<sup>1</sup>

## RESUMO

Este artigo explora a gestão da informação aplicada na análise e solução de problemas de produção na indústria papelreira, especificamente numa linha de conversão de papel de fins sanitários (tissue). Busca-se com base em uma amostra significativa de dados, identificar oportunidades para então eliminar perdas no processo como retrabalhos, refugos, falhas de equipamento e instabilidade de produção. A indústria como um todo melhora efetivamente sua eficiência tendo um compartilhamento rápido de informações e análise da solução de problemas em base a dados históricos obtidos do seu próprio ambiente. Diante deste contexto este artigo fornece um novo ponto de vista sobre o compartilhamento das oportunidades, disponibilizando recursos para a empresa melhorar com sucesso sua eficiência de produção. Utilizando-se das informações disponibilizadas automaticamente pelas máquinas e associadas ao uso de algumas ferramentas da qualidade, procura-se identificar e elencar uma relação de atividades para cada oportunidade, estabelecendo soluções para, de forma eficiente, reduzir o tempo de inatividade, melhorar o desempenho e aumentar os rendimentos da linha de produção.

**Palavras-chave:** Método de análise e solução de problemas (MASP). Gestão da informação. Ferramentas da qualidade.

## INTRODUÇÃO

As empresas vivem numa incessante corrida em busca da eficiência, em que é necessário atender a uma demanda e aperfeiçoar ao máximo seus processos visando a redução de

falhas e tempo de parada. Por esse motivo, buscam melhorar a sua qualidade, reduzir os desperdícios, reduzir os custos e obviamente, aumentar a produtividade. Essa necessidade de melhoria da eficiência é uma consequência não apenas pelo fato do cliente estar mais exigente, mas também da concorrência, dos prazos e da busca pela qualidade.

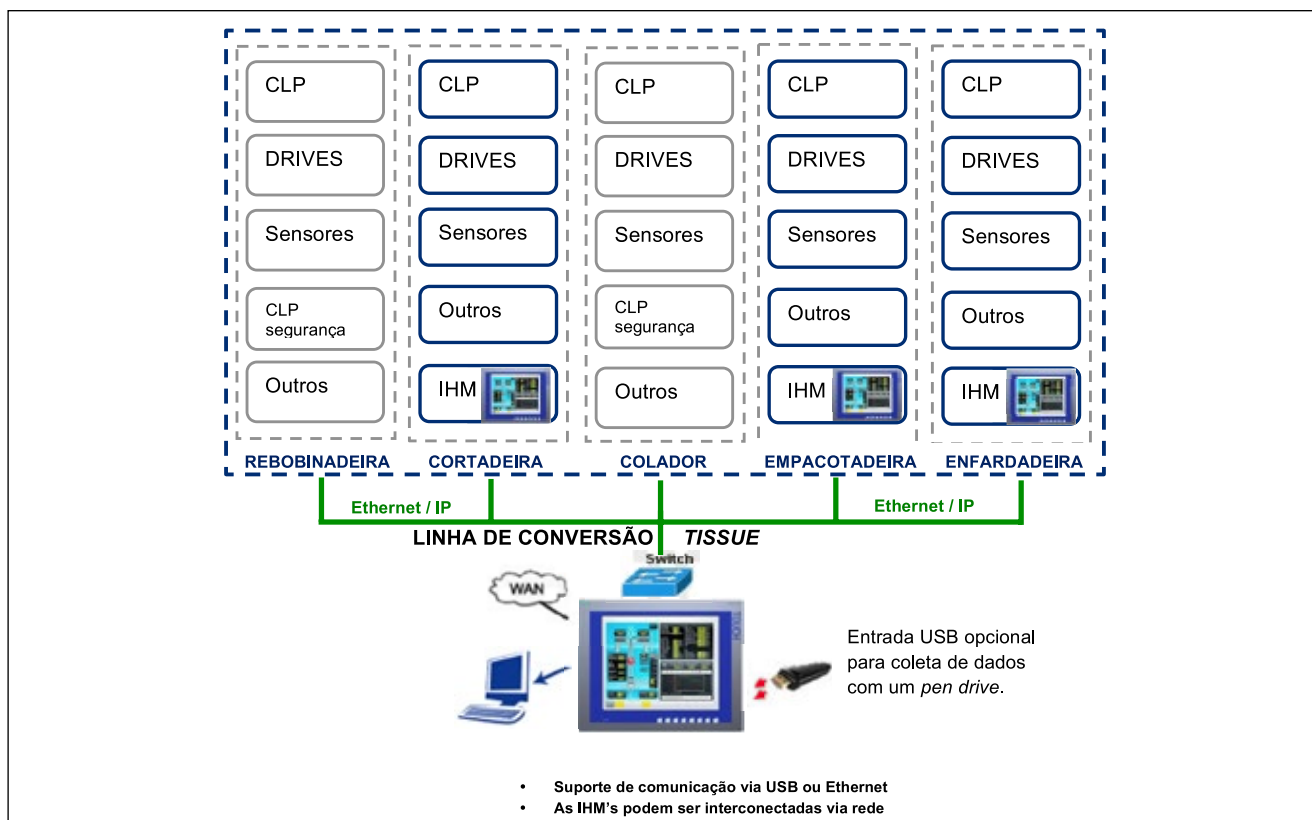
Segundo Candido *et al.* (2000), na era do conhecimento, o ponto chave não está somente na capacidade da organização em reconfigurar seus processos segundo a nova realidade do mercado, mas também na capacidade de fazer bom uso das informações disponíveis coletadas de seu próprio ambiente.

Isto faz com que as indústrias procurem soluções e metodologias que as tornem mais eficientes (SILVA, 2017). Essa conveniente união operacional em busca da eficiência leva a uma nova demanda, onde a necessidade de integração da cadeia produtiva remete a nova fase da revolução industrial, a Indústria 4.0.

Na Indústria 4.0, as máquinas estão conectadas como uma comunidade colaborativa. Tal evolução requer a utilização de ferramentas para que esse grande ambiente de dados possa ser sistemática e prontamente processado. Estar mais bem informado e tendo mais transparência sobre o processo, ajudará o gestor a trabalhar nas deficiências nos processos (LEE, KAO e YANG, 2014).

Segundo Liu & Xu (2017), a quarta revolução industrial é identificada pelo uso de sistemas ciberfísicos (CPS) no ambiente fabril, em que a tecnologia de informação (TI) fornece soluções que ajudam nos desafios enfrentados pela indústria de transformação, alavancando informações e auxiliando no aumento da competitividade.

**Autor correspondente:** Sergio Raiser (Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção, Centro Universitário Sociesc – UniSociesc, Joinville, Brasil) sergio.raiser@gmail.com



**Figura 1 – Representação de uma rede de comunicação e coleta de dados em linha de produção**  
**Fonte: Os Autores (2018)**

Normalmente, se o gerente de produção quiser obter informações da produção diretamente do chão de fábrica, terá que coletar dados por meio de interfaces na máquina ou de operadores e, em seguida, usar uma planilha eletrônica para analisar estes dados; o problema é que isso consome um tempo elevado de sua atividade diária. Com o auxílio do CPS, pode-se acelerar esse processo por meio do sistema automatizado de gerenciamento de produção. No momento desejado ou, a cada final de turno, a máquina automaticamente integra todos os dados e disponibiliza relatórios ao gestor. Isso aumenta a velocidade de gerenciamento de produção significativamente (LEE, KAO e YANG, 2014).

Na Figura 1 são representadas em colunas algumas das máquinas do ambiente de conversão de papel conectadas a diversos equipamentos de comando, e interconectadas entre si através da rede industrial *Ethernet*. Essas conexões dos equipamentos permitem registrar seguidamente em sua interface Homem Máquina (IHM) informações relevantes referentes aos alarmes, velocidade de trabalho, configurações do produto etc. Listam exatamente tudo o que aconteceu com registros de horários e datas durante as 24 horas do dia, e salvam em arquivos na própria interface. Esses dados podem ser capturados da interface por meio de *pendrive* ou via rede conectada na IHM a um computador externo.

Estes dados contêm as informações obtidas diretamente das máquinas sem a intervenção humana, e por conter informações relevantes do processo devem servir para gerar informações e consequente melhoria no processo.

O grande volume de dados gerado é excelente para a base de dados, porém é um desafio não só capturar, gerenciar e armazenar este grande conjunto, mas também interpretar de forma eficiente toda essa informação armazenada por meio de abordagens tradicionais (YIN *et al.*, 2015).

Em um mundo cada vez mais competitivo, permitir aos gestores a possibilidade de antever os próximos passos é um comportamento chave para o sucesso de qualquer empresa. Por consequência, a capacidade de encontrar, organizar e sistematizar esses “pacotes de informações”, que estão ali disponíveis, é um produto muito valioso e deve ser aproveitado.

## REFERÊNCIAL TEÓRICO

O referencial teórico, para ser mais bem compreendido, está dividido em duas partes. A primeira parte compreende a explanação de alguns conceitos acerca das teorias utilizadas como embasamento e, a segunda parte, inicia-se no item 6. com o PDCA e trata de algumas das ferramentas da qualidade sugeridas para a análise dos dados obtidos.

## 1. A Indústria 4.0

O mundo já passou por três revoluções industriais e atualmente vive a quarta revolução, a chamada Indústria 4.0. A quarta revolução industrial é uma iniciativa do governo alemão com objetivo de criar uma estratégia de alta tecnologia pensada em atender os desafios do século XXI e assim manter sua indústria competitiva (FIRJAN, 2016).

A chanceler alemã Ângela Merkel citou a Indústria 4.0 como sendo “a transformação completa de toda a esfera da produção industrial por meio da fusão da tecnologia digital e da internet com a indústria convencional”. Em resumo, tudo que engloba a operação de fabricação (fornecedores, planta, distribuidores, incluso o próprio produto) é digitalmente conectado e fornece uma cadeia de valor altamente integrada (DAVIES, 2015).

Na Figura 2 há uma representação básica de todas essas revoluções e segundo Posada *et al.* (2015), nesta ilustração, a Indústria 4.0 prevê que os CPS trarão outra revolução industrial.

De cada uma das revoluções tem-se resumidamente que: a primeira trata da mecanização, baseada na introdução de equipamentos impulsionados por água e energia do vapor, que teve como consequência uma eficiência melhorada; a segunda revolução caracterizou-se pela produção em massa, graças à introdução da eletricidade e do conceito de divisão de tarefas; a terceira revolução marcou-se pelo uso da eletrônica e da tecnologia da informação promovendo a produção automatizada e na quarta, dentro da emergente revolução, há a introdução dos chamados sistemas ciberfísicos ou rede de informação virtual (SHAFIQ *et al.*, 2015; REINER, 2014).

Um cenário de aplicação típico na Indústria 4.0 são os produtos inteligentes conduzindo todas as informações necessárias sobre seus processos de produção. Os produtos se comunicam com os adequados recursos de produção na

cadeia de valor e decidem por conta própria o que fazer e quais etapas seguir. Há ainda um outro cenário de máquinas inteligentes que são capazes de prever quebras ou problemas de qualidade e programar a manutenção em tempo (manutenção preventiva). Sua base de dados é composta pelos históricos de produção, que são responsáveis pela geração deste conhecimento e aprimoramento de processo (GÖLZER; CATO; AMBERG, 2015).

A Indústria 4.0 centra-se na conexão de produtos inteligentes e processos produtivos. Na manufatura futura as fábricas terão que lidar com a necessidade de desenvolvimento rápido de produtos, com uma produção flexível e com ambientes complexos (GÖLZER; CATO; AMBERG, 2015).

## 2. Manufatura Enxuta

Segundo os autores Silva *et al.* (2008), da comparação do desempenho das empresas japonesas com as ocidentais numa pesquisa de *benchmarking* realizada no setor automotivo nasceu o termo *Lean Manufacturing* ou Manufatura enxuta, aparecendo pela primeira vez no livro *A máquina que mudou o mundo* escrito por Womack e Jones (1992). As empresas japonesas conseguiam fazer cada vez mais com menos recursos e seu desempenho era surpreendente.

Na realidade, Manufatura Enxuta é um termo genérico usado para definir o Sistema Toyota de Produção (STP) e pode ser traduzido como um sistema de produção eficiente, maleável e superior à produção em massa, um sistema habilitado a enfrentar um mercado em constante mudança (FERREIRA, 2004).

## 3. CPS (Cyber Physical System)

O termo CPS refere-se à convergência do mundo físico e digital, ou seja, à integração de sistemas computacio-

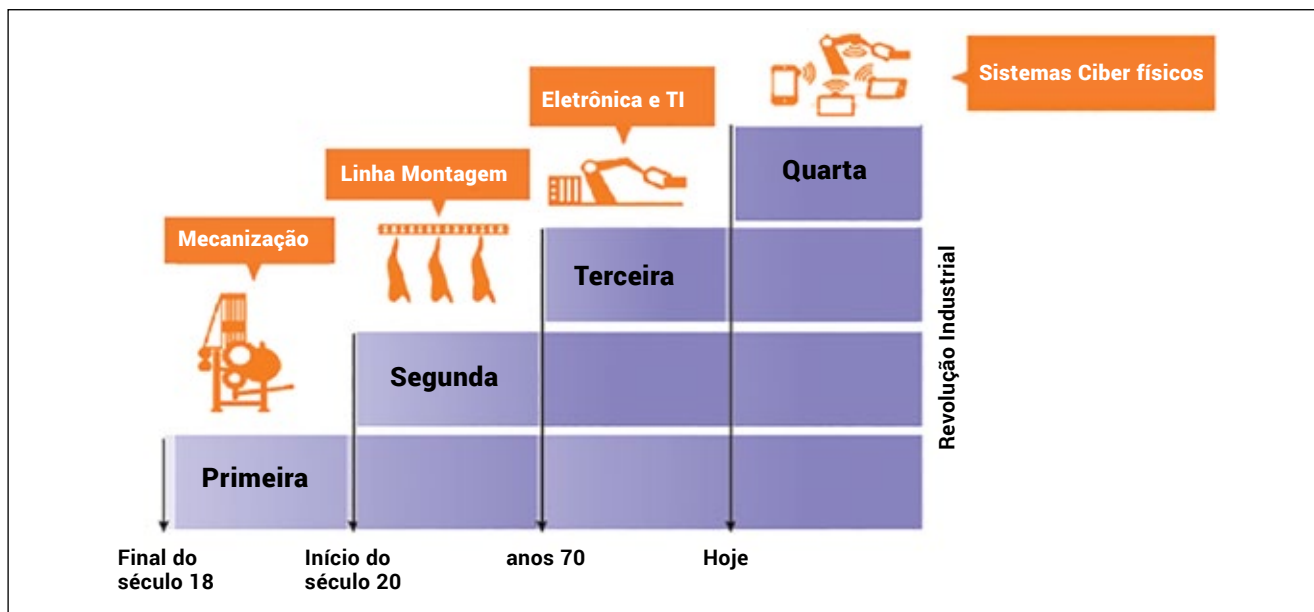


Figura 2 - Representação das etapas da revolução industrial mundial

Fonte: Posada *et al.* (2015)

nais com o mundo físico no desenvolvimento de novas tecnologias. Este sistema combina tecnologias cibernética, mecânica e eletrônica para melhoria do desempenho de fabricação (BAHETI; GILL, 2011). A precisão da informática deve interagir com a incerteza e ruídos do ambiente físico fabril, monitorando e controlando esses sistemas (RAJKUMAR *et al.*, 2010).

O sistema ciberfísico é um guia para este trabalho, ou seja, da Figura 3 seus passos são seguidos sequencialmente até a Figura 4.a etapa das funções.

Em um primeiro estágio os dados sensoriais são convertidos em informações e a captura de registros pode sintetizar etapas futuras de identificação de problemas. Num segundo estágio, tem-se dados de máquina mais avançados monitorando parâmetros delas separadamente. Na terceira etapa é tratado o sistema de produção, no qual agrega conhecimento de componentes e informações de nível de máquina, possibilitando a otimização da produção e auxiliando no gerenciamento da fábrica (LEE, BAGHERI e KAO, 2015).

Conforme Monostori *et al.* (2016), os sistemas ciberfísicos representam um grande avanço no desenvolvimento de informática, informação e tecnologias de comunicação. Quando aplicados à produção, a CPS é denominada de sistemas de produção ciberfísico (CPPS). Os sistemas de produção ciberfísicos têm de um lado a tecnologia da informação e comunicação e do outro, a tecnologia de fabricação.

Uma linha de produção de papel para fins sanitários é composta de muitos equipamentos eletrônicos que são responsáveis basicamente pelo acionamento e controle da mesma, e podem ser observadas vantagens quanto ao uso de um sistema CPS aplicado à mesma.

Conforme Figura 3, os autores Lee, Bagheri & Kao (2015)

propõem uma estrutura CPS de 5 níveis chamada de estrutura 5C, fornecendo o passo a passo para a sua implantação.

Nível 1 – Conexão inteligente: Os dados podem ser adquiridos de sensores, controladores ou sistemas como ERP (*Enterprise Resource Planning* – Sistema de Gestão Empresarial) ou MES (*Manufacturing Execution System* – Sistemas de Execução da Manufatura), porém, obrigatoriamente, devem ser precisos e confiáveis.

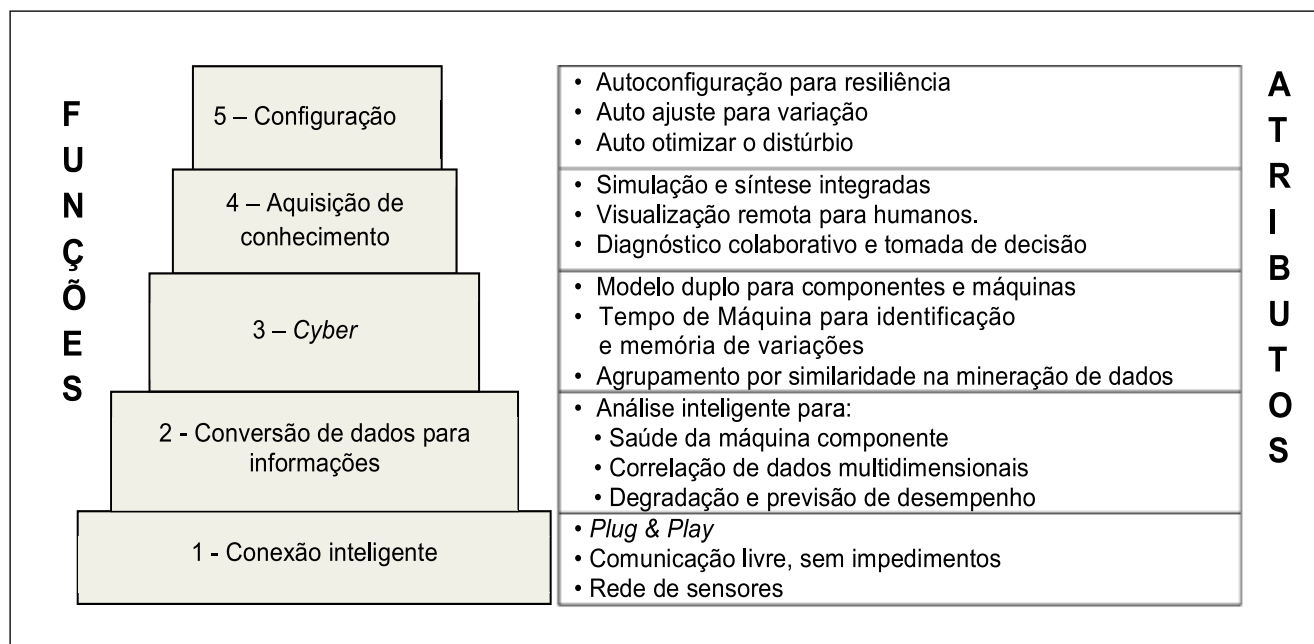
Nível 2 – Conversão de dados para informações: Informações relevantes devem ser entendidas a partir dos dados, portanto essa conversão é primordial. Existem várias ferramentas e metodologias disponíveis para a conversão de dados em informações.

Nível 3 – Ciber: O nível cibernético é o ponto central de informações nesta arquitetura. Cada máquina envia suas informações, criando uma rede de máquinas com dados sólidos sobre todo o processo. Fazendo a análise é possível comparar o desempenho da máquina, entre máquinas, fazer uma classificação e salvar histórico para futura análise de comportamento.

Nível 4 – Aquisição de conhecimento: Com dados e informações corretas sobre o estado da máquina, informações apropriadas são transferidas aos operadores, orientando na prioridade das tarefas e no ponto da correta tomada de decisão.

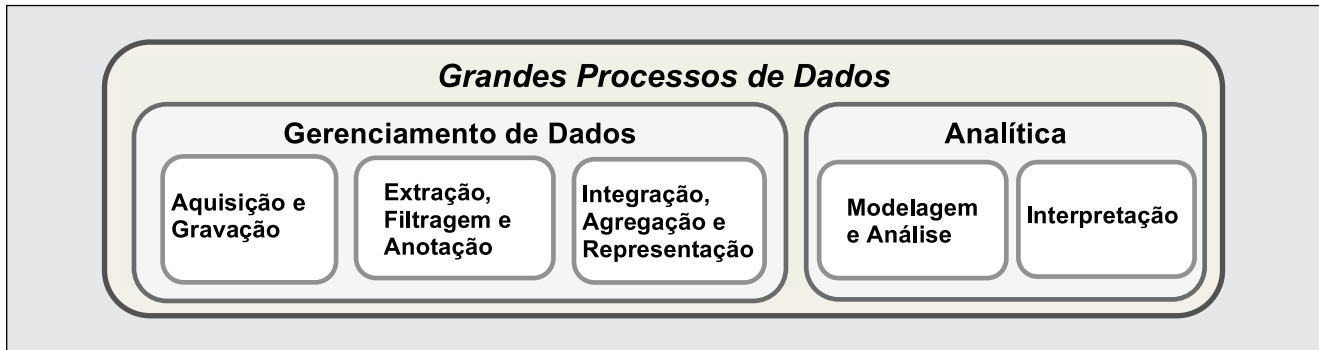
Nível 5 – Configuração: Trata-se do retorno do espaço cibernético ao espaço físico e funciona como um controle de supervisão no intuito de fazer máquinas autoconfiguradas e autoadaptativas. Este nível atua como um sistema de controle de resiliência (RCS) para aplicar ao sistema monitorado decisões corretivas e preventivas.

As atividades tratadas neste artigo avançam até a Função 4. A Função 5, que trata do retorno do espaço ciberfísico



**Figura 3 – Arquitetura 5C para implementação do Sistema Cibernético.**

Fonte: Lee, Bagheri & Kao (2015)



**Figura 4. Processos para extrair informações de grandes dados**  
 Fonte: Gandomi & Haider (2015)

para o físico com o automático controle e supervisão, não foi contemplada neste trabalho, dado a necessidade maior de automatismo nas máquinas.

#### 4. Big data & data analytics

Consiste no processo de gerar conhecimento e valor a partir de dados de produção e identificar as melhores direções para a otimização dos processos. No entanto, segundo Gandomi & Haider (2015) e Labrinidis & Jagadish (2012), o *Big data* tem muitos desafios, sendo o primeiro a aquisição dos dados. Fontes de dados como rede de sensores, por exemplo, geram uma enorme quantidade de dados brutos. Os dados que não interessam devem ser eliminados e o desafio é não descartar informações relevantes. O segundo desafio é gerar e formatar os dados corretamente para posterior análise. Tudo acontecendo de forma automatizada.

Ainda segundo Gandomi & Haider (2015), os cinco estágios formam dois subprocessos: fase de gerenciamento de dados e fase analítica, conforme Figura 4. O gerenciamento de dados caracteriza-se por englobar processos e tecnologias de suporte para coletar e armazenar dados, filtrar, registrar e preparar para a análise. O analítico, por sua vez, recebe os dados preparados, os dados considerados mais relevantes e usa técnicas para analisar e adquirir a inteligência.

A união destes 2 subprocessos é chamada pelos autores de processo de extração de informação de grandes dados.

#### 5. Visual Data mining

A mineração visual de dados é a união do *software* na filtragem da grande quantidade de informações fornecidas pelas máquinas com a geração de gráficos e tabelas, que visam facilitar e auxiliar o gestor na leitura dos mesmos.

A mineração de dados nada mais é que a extração de conhecimento útil de uma grande fonte de informações permitindo assim a tomada de decisões dinâmicas. A integração da visualização na mineração de dados, chamada de mineração visual de dados, combina a capacidade humana de exploração com a capacidade analítica dos computadores

visando a solução efetiva de problemas (LTIFI *et al.*, 2016).

Um dos gráficos a ser gerado a partir da extração é do diagrama de Pareto, isso porque permite, após estratificação, visualizar os pontos relevantes que estão interferindo no processo no momento, e que, portanto, devem ser os que primeiro devem receber atenção.

#### 6. PDCA

De acordo com os autores Jeschke (2015) e Aguiar (2002, p. 23), o ciclo PDCA – planejar (*plan*), fazer (*do*), checar (*check*) e agir (*act*), consiste numa sequência de etapas, procedimentos e ferramentas agindo no processo em ações corretivas de melhoria contínua com objetivo de atingir as metas necessárias para a sobrevivência da empresa.

Para Campos (2013, p. 29), o PDCA “é um método para a prática do controle”, e está vinculado a filosofia Kaizen, que é a melhoria contínua, e um dos pilares da administração da qualidade.

As quatro etapas do ciclo PDCA, segundo Aguiar (2002, p. 24) e Campos (2013, p. 29), são assim descritas:

- ✓ *Plan* (Planejamento): Nesta etapa são estabelecidos os planos de ação para atingir a meta proposta, incluindo todos os níveis gerenciais;
- ✓ *Do* (Execução): Na execução o plano de ação traçado na etapa anterior é implementado, e os dados são coletados para saber do atingimento da meta;
- ✓ *Check* (Verificação): Com os dados coletados na etapa de execução faz-se uma averiguação dos resultados e do grau de avançamento em relação ao objetivo;
- ✓ *Action* (Ação): O caminho a seguir nesta etapa depende dos resultados alcançados na etapa de verificação. É feita uma análise para conhecimento da meta e do resultado alcançado. Se o objetivo proposto foi alcançado deve-se estabelecer meios de manter o bom resultado. Se o objetivo não foi alcançado deve-se iniciar um novo ciclo PDCA, porém agora trabalhando na lacuna encontrada entre o objetivo inicial e o resultado alcançado e saber as causas do desvio e as medidas corretivas.

PDCA	Fluxograma	Fase	Objetivo
P	①	Identificação do problema	Definir claramente o problema e reconhecer sua importância.
	②	Observação	Investigar as características específicas do problema com uma visão ampla e sob vários pontos de vista.
	③	Análise	Descobrir as causas fundamentais.
	④	Plano de ação	Conceber um plano para bloquear as causas fundamentais.
D	⑤	Ação	Bloquear as causas fundamentais
C	⑥	Verificação	Verificar se o bloqueio foi efetivo
	⑦	Bloqueio foi efetivo?	
A	⑧	Padronização	Prevenir contra o reaparecimento do problema.
	⑨	Conclusão	Recapitular todo o processo de solução do problema para trabalho futuro.

**Quadro 1 – Método de solução de problemas**

Fonte: Campos (2014b, p. 67)

### 7. Método de Análise e Solução de Problemas (MASP)

Segundo Jeschke (2015), com o objetivo de solucionar problemas, a metodologia MASP é constituída por dois eixos temáticos que são: o ciclo PDCA e as ferramentas da qualidade. Esta Metodologia de Análise e Solução de Problema (MASP) é um método que passa por sete fases estruturadas dentro do Ciclo do PDCA que pode ser demonstrado e compreendido conforme o Quadro 1.

O MASP utiliza conceitos que também convergem para a melhoria contínua. Ele trabalha com dados levantados e que comprovem verdadeiramente os problemas. A utilização de ferramentas da qualidade auxilia na sua implantação (Jeschke, 2015).

No entanto, para a solução dos problemas, isto é, para a melhoria dos resultados, “o método proposto deve ser realizado com o envolvimento de todos da área pertinente na solução dos problemas – é o chamado gerenciamento participativo” (CAMPOS, 2014b, p. 66).

### 8. Diagrama de Pareto

Segundo Slack, Chambers & Johnston (2015) para fazer o trabalho de melhoria de um processo é necessário saber e separar o que é importante do que é menos importante, ou seja, identificar os pontos mais relevantes. O diagrama de Pareto ou princípio 80/20 tem esse objetivo, ou seja, é baseada no fenômeno que ocorre frequentemente de poucas causas (20%) explicarem a maioria dos defeitos (80%).

O diagrama de Pareto “é um gráfico de barras que mostra os maiores problemas com colunas localizadas à esquerda seguidos pelos menores problemas, colunas deslocando-se à direita”. No eixo da esquerda tem-se os totais absolutos e no eixo da direita os percentuais cumulativos (SHIBA; GRAHAM;

WALDEN, 1997, p. 78). O resultado final resulta num gráfico com uma ilustração simples e que facilita a concentração de esforços para a análise de problemas (VIEIRA, 2014).

### 9. Diagrama de causa e efeito

O “diagrama de causa e efeito”, ou “diagrama espinha de peixe”, ou ainda, “diagrama de Ishikawa” foi criado por Kaoru Ishikawa que desenvolveu essa ferramenta dada a importância da separação das causas dos efeitos no gerenciamento. Dessa forma, “todos os colaboradores exercitam a separação dos fins de seus meios e as pessoas pensam sobre causas e motivos possíveis da razão de um problema” (CAMPOS, 2014b, p. 19; SILVEIRA, 2016).

Segundo Shiba, Graham & Walden (1997, p. 79), este diagrama deve ser utilizado para orientar a coleta e análise dos dados no intuito de descobrir a causa raiz do problema. “O diagrama de causa e efeito é representado pelo efeito que situa-se à direita e as principais causas deste efeito no eixo horizontal”. No entanto, causas principais são efeitos que têm subcausas e assim por diante.

“Sempre que há um evento (efeito, resultado) existe uma série de causas (meios) que pode ter relação com este resultado” (CAMPOS, 2014b, p. 19). Diagnosticar corretamente e descobrir essa causa raiz é fundamental para resolver ou, senão, reduzir a possibilidade que novamente o problema ocorra.

### 10. 5W1H

Segundo Campos (2014a, p. 107), o método 5W1H “é um *check-list* utilizado pela chefia e subordinados no intuito de orientar e evitar dúvidas na execução das atividades”. Atividades e funções de cada pessoa ficam explícitas e registra-

Método	Significado	Tradução	Descrição
5W	<i>What</i>	Que	Que operação? Qual assunto?
	<i>Who</i>	Quem	Quem executa a tarefa?
	<i>Where</i>	Onde	Onde será realizada?
	<i>When</i>	Quando	Quando será realizada? Que horas?
	<i>Why</i>	Por que	Por que está tarefa é necessária?
1H	<i>How</i>	Como	Como será executada? De que maneira?

**Quadro 2 – Significado de cada letra do método 5W1H**  
 Fonte: Adaptado de Campos (2014a, p. 107)

das, assim não há dúvida, pois há resposta registrada de cada questionamento.

O Quadro 2 especifica o significado de cada letra W e H do nome do método.

**11. Tempestade de ideias (Brainstorming)**

É uma técnica para a geração de ideias por meio do estímulo da criatividade, do envolvimento das pessoas e, principalmente, sem qualquer crítica às ideias sugeridas. “O objetivo é propor uma lista de ideias e de possíveis soluções propostas pelo time, visando ajudar no desenvolvimento e na solução do problema” (DALLARETTI FILHO, 1996, p. 19). Unir a equipe e registrar suas ideias na busca pela solução do problema, ajuda mútua com um objetivo específico.

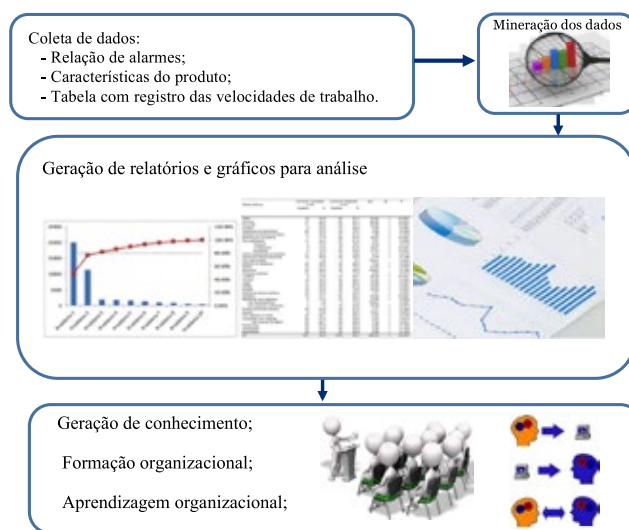
**12. Lição ponto a ponto**

A disseminação de informações levantadas com a análise e solução dos problemas relatados é importante para as equipes de produção e manutenção. A Lição Ponto a Ponto (LPP) é considerada um dos tesouros do pilar da manutenção autônoma (TPM), e é uma ferramenta importante que auxilia na transmissão do conhecimento. A LPP é uma maneira simples de treinar os operadores em seu local de trabalho por meio das lições aprendidas sobre um tema, que são ilustradas através de fotos, ou desenhos, em uma folha de papel, registrando as melhorias realizadas (CARRIJÓ, 2008).

**DESENVOLVIMENTO**

**1. Framework do projeto**

A Figura 5 apresenta o *framework* deste projeto. Inicia-se com a coleta de dados do chão de fábrica, com informações oriundas de três fontes de dados.



**Figura 5 – Framework do projeto**  
 Fonte: Os Autores (2018)

A primeira é por meio da leitura de arquivos da interface homem máquina (IHM) com todos os registros de falhas e alarmes. A segunda fonte é a leitura da receita, isto é, especificações do produto ajustado na máquina. E a terceira fonte são os registros de velocidade, seus mínimos e máximos e conseqüente registro de parada de máquina.

Uma vez coletado, os dados precisam ser filtrados, isto é, extrair informações relevantes, e com esse alicerce pronto o sistema passará a alimentar dados à indústria papeleira, ou seja, corroborando com a autora Ramalho (2012) que diz que de nada adianta ter os dados, há necessidade de processar toda a informação e externá-la

para alguma finalidade. Nesse caso, criará relatórios e informará o gestor das ocorrências do processo.

Os relatórios informarão dos problemas mais importantes classificados segundo gráfico de Pareto, e então a equipe reunida deverá tratar ações de solução definitiva ou contenção para cada um deles.

Por fim, os registros dos acontecimentos ocorridos serão relatados e essas informações devem ser disseminadas e gerar conhecimento. As soluções dos problemas devem ser transmitidas aos envolvidos, sejam equipes de manutenção ou produção. Os registros dos procedimentos para cada solução devem ser realizados e documentados por meio de lição ponto a ponto (LPP). As equipes devem ser treinadas, e desta maneira numa próxima ocorrência consultando a LPP, os envolvidos saberão como proceder para resolver de maneira ágil o problema.

### 1.1 A coleta de dados

Uma coleta de dados numa máquina foi realizada, e após uma filtragem em que, para efeito demonstrativo, somente foram analisados os dados do mês de dezembro de 2017, chegou-se a um total de 1779 alarmes registrados pelas máquinas da linha de produção de uma indústria papelreira tissue.

### 1.2 Mineração dos dados

Todos os dados coletados passaram por um processo de limpeza, formatação, mineração e interpretação. Foram formatados estatisticamente segundo o número de ocorrências de cada alarme (frequência no respectivo período). Para essa filtragem utilizou-se um *software* editor de planilha e com ele gerou-se o Quadro 3, e nele tem-se a classificação segundo o número de ocorrências do mês de dezembro de 2017.

### 1.3 Geração de relatórios e gráficos para análise

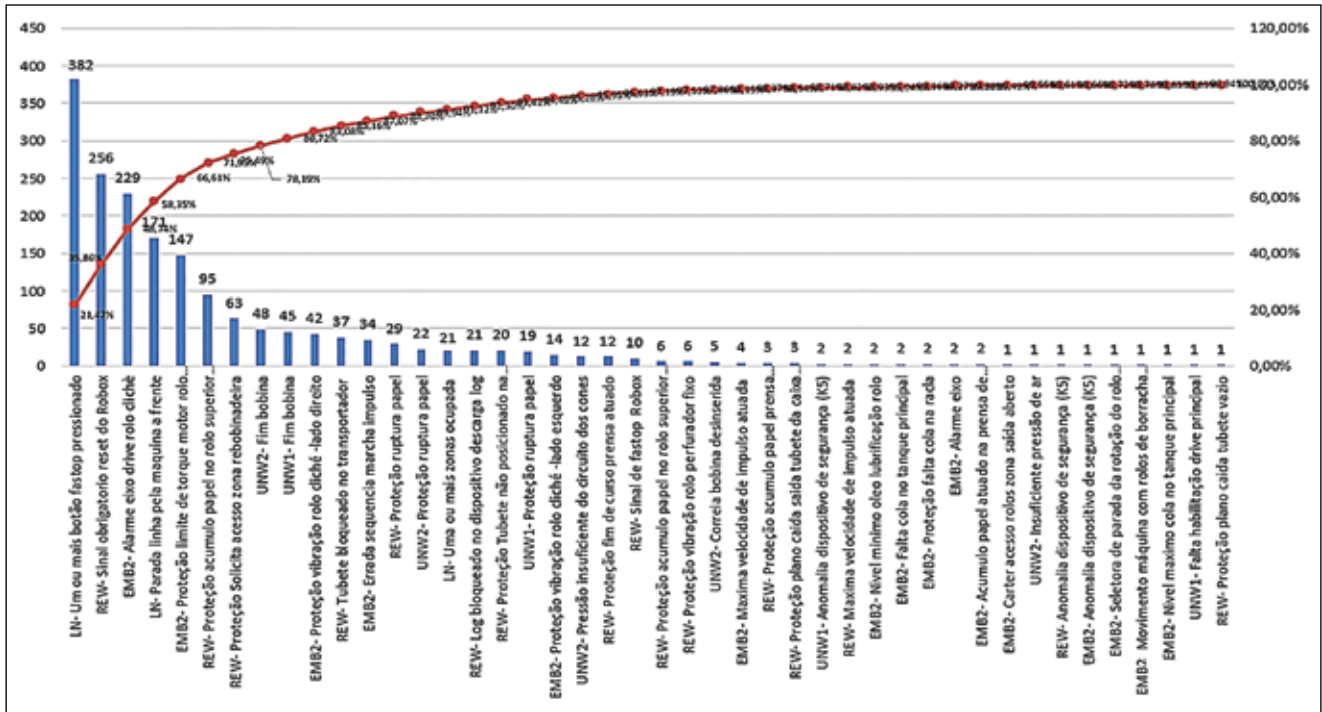
A mineração dos dados permite a melhor apresentação das informações obtidas das máquinas. Segundo Silva Neto *et al.* (2010) e Alves & Falsarella (2009), integrar a mineração de dados com a visualização da informação é importante no auxílio aos processos decisórios, pois facilita na análise dos dados.

Os doze primeiros alarmes visualizados no Quadro 3 e no Gráfico 1, representam 87,07% do total acumulativo das ocorrências do mês, isso significa que os tratar primeiro é indiscutivelmente necessário, pois explicam a maioria dos defeitos. Uma observação importante a ser feita diz respeito aos Itens 7, 8 e 9. São atividades pertinentes ao processo que são registradas, porém num primeiro momento não é necessário analisá-los.

Relação dos alarmes do mês de dezembro de 2017	Contagem	% do Total Geral	% Acumulativo
1 LN- Um ou mais botão fastop pressionado	382	21,47%	21,47%
2 REW- Sinal obrigatorio reset do Robox	256	14,39%	35,86%
3 EMB2- Alarme eixo drive rolo clichê	229	12,87%	48,74%
4 LN- Parada linha pela maquina a frente	171	9,61%	58,35%
5 EMB2- Proteção limite de torque motor rolo retinado	147	8,26%	66,61%
6 REW- Proteção acumulo papel no rolo superior (Fotocelula)	95	5,34%	71,95%
7 REW- Proteção Solicita acesso zona rebobinadeira	63	3,54%	75,49%
8 UNW2- Fim bobina	48	2,70%	78,19%
9 UNW1- Fim bobina	45	2,53%	80,72%
10 EMB2- Proteção vibração rolo clichê - lado direito	42	2,36%	83,08%
11 REW- Tubete bloqueado no transportador	37	2,08%	85,16%
12 EMB2- Errada sequencia marcha impulso	34	1,91%	87,07%
REW- Proteção ruptura papel	29	1,63%	88,70%
UNW2- Proteção ruptura papel	22	1,24%	89,94%
LN- Uma ou mais zonas ocupada	21	1,18%	91,12%
REW- Log bloqueado no dispositivo descarga log	21	1,18%	92,30%
REW- Proteção Tubete não posicionado na corrente descarga caixa tubete	20	1,12%	93,42%
UNW1- Proteção ruptura papel	19	1,07%	94,49%
EMB2- Proteção vibração rolo clichê -lado esquerdo	14	0,79%	95,28%
UNW2- Pressão insuficiente do circuito dos cones	12	0,67%	95,95%
REW- Proteção fim de curso prensa atuado	12	0,67%	96,63%
REW- Sinal de fastop Robox	10	0,56%	97,19%
REW- Proteção acumulo papel no rolo superior (Sensor)	6	0,34%	97,53%
REW- Proteção vibração rolo perfurador fixo	6	0,34%	97,86%
UNW2- Correia bobina desinserida	5	0,28%	98,15%
EMB2- Maxima velocidade de impulso atuada	4	0,22%	98,37%

**Quadro 3 – Análise de falhas de dezembro de 2017**

Fonte: Os Autores (2017)



**Gráfico 1 – Gráfico de Pareto referente a análise de falhas de dezembro de 2017**  
 Fonte: Os Autores (2017)

**1.4 Gestão da informação obtida nos processos**

Tendo disponibilizado o relatório com os dados do processo, o passo seguinte é saber como trata-los, isto é, trabalhar na solução dos problemas levantados. O procedimento sugerido para dar sequência e solução aos principais problemas coletados é a utilização do método de análise e solução de problemas MASP e algumas das ferramentas da qualidade. Esses métodos são considerados as principais orientações para os programas de melhoria. Para tal execução sugere-se mobilizar operadores e equipe de manutenção, envolvê-los e trabalhar nos principais problemas (os mais relevantes identificados pelo diagrama de Pareto) e fazer um *brainstorming*.

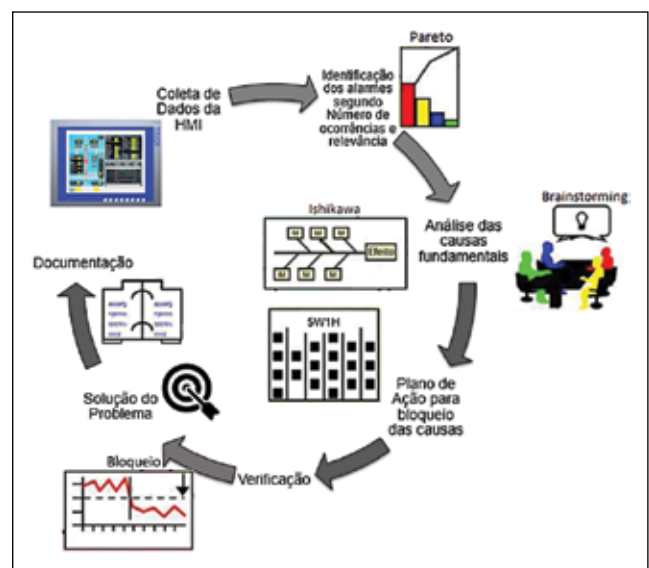
Suas causas fundamentais são investigadas e cria-se um plano de ação ainda na fase de planejamento (*Plan*). Na fase de execução (*Do*), as causas devem ser eliminadas e a efetividade dessa ação deverá ser confirmada na etapa de verificação (*Check*). Para finalizar, as modificações serão padronizadas e os procedimentos das resoluções dos problemas devem ser revisados e ajustados (*Act*). O método seguido neste projeto é o representado no Quadro 1 e é o método proposto por Campos (2004b, p. 67) composto por oito passos.

Basicamente, os oito passos são assim resumidos: formação do time, descrição do problema, implementação das ações de bloqueio, definição das causas básicas, definição das ações corretivas permanentes, implementação e verificação da eficácia das ações corretivas permanentes, prevenção da reincidência e reconhecimento da equipe.

Por exemplo, para a análise da falha: **Emb2 – Alarme eixo drive rolo clichê**, foram utilizadas as ferramentas da

qualidade: diagrama de Pareto, diagrama de causa e efeito, método 5W1H e o PDCA. Porém, dependendo do tipo de alarme, nada impede que sejam utilizadas outras ferramentas da qualidade como FMEA (Método de Análise de Falha), por exemplo.

Para cada problema levantado deve ser feita uma análise para estipular qual ferramenta da qualidade é a mais adequada. A Figura 6 representa a sequência de ferramentas da qualidade inicialmente previstas para serem utilizadas.



**Figura 6 – Ferramentas utilizadas na estruturação da Metodologia de Análise e Solução de Problema (MASP) aplicado neste projeto.**  
 Fonte: Adaptado de Silva (2016)

5W1H	O que	Porque	Como	Onde	Quem	Quando	
Alarme eixo drive rolo clichê	Motor	Otimização do motor	Após um período em funcionamento e com o conjunto mecânico já ajustado, é aconselhável. A otimização reajusta os ganhos do motor.	Software Scout	Máquina	Eletrônico	Parada preventiva
		Corrente motor elevada	Verificar se motor travado / pesado	Verificando montagem do conjunto	Máquina	Mecânico e elétrico	Parada preventiva
		Torque do motor	Verificar se motor travado / pesado	Verificando montagem do conjunto	Máquina	Mecânico e elétrico	Parada preventiva
		Rolamentos do motor	Verificar se motor travado / pesado	Inspeção preditiva; Desacoplando motor e girando sem carga; Substituindo rolamentos.	Máquina	Responsável pela preditiva e Mecânico	Parada preventiva
	Conjunto mecânico	Alinhamento do rolo	Verificar medidas na máquina	Refazendo a calibragem do grupo	Máquina	Mecânico	Parada preventiva
		Ajustes mecânicos	Verificar ajustes gerais pertinentes	Analizando as necessidades	Máquina	Mecânico	Parada preventiva
	Redutor	Redutor travado	Dentes da engrenagem quebrados	Inspeção preditiva; Abrindo o redutor para verificação;	Máquina	Responsável pela preditiva e Mecânico	Parada preventiva
		Redutor quebrado	Dentes da engrenagem quebrados	Inspeção preditiva; Abrindo o redutor para verificação;	Máquina	Responsável pela preditiva e Mecânico	Parada preventiva
		Redutor sem óleo	Nível de óleo baixo; redutor seco;	Checando nível de óleo.	Máquina	Mecânico	Parada preventiva

**Quadro 4 – Plano de ação 5W1H gerado para a eliminação da falha**  
**Fonte: Os Autores (2017)**

Elas representam o ciclo de todo o processo de análise e solução para cada alarme.

No exemplo do alarme eixo drive rolo clichê já identificada na coleta de dados tem-se as seguintes fases:

Na Fase 1 ocorre a identificação do problema, ou seja, com o diagrama de Pareto por meio do critério número de ocorrências no período estipulado e do grau de relevância do alarme definido pela equipe e, com base no conhecimento técnico e experiência, os problemas são elencados. Em virtude de ser um problema específico de um componente (*drive*) e não de uma consequência operacional como os dois primeiros itens listados e para facilitar a explicação do método optou-se por analisar o alarme **EMB2 – Alarme eixo drive rolo clichê** com 229 ocorrências, representando 12,87% do total geral de alarmes.

Na Fase 2, foi realizado um brainstorming com time operacional e também com o time de manutenção. O objetivo é o de levantar ideias e sugestões para a solução de cada problema. O time de manutenção deve estar envolvido diretamente, pois zela pela integridade dos equipamentos utilizados pela produção e desempenha um papel estratégico por garantir essa funcionalidade plena dos recursos (ALVES; FALSARELLA, 2009).

Na sequência, foi realizado o diagrama de causa e efeito para detectar a causa raiz do problema, ou seja, fatores que influenciam e que, após uma votação para determinar os principais itens, aqueles mais indicados pela equipe serão os pontos a serem trabalhados. O diagrama de causa e efeito do alarme eixo drive rolo clichê está representado na Figura 7.

Na Fase 3, já de posse dos pontos mais relevantes, é feito o plano de ação 5W1H em que o time auxilia respon-









**Figura 7 – Diagrama Causa efeito aplicado ao alarme eixo drive rolo clichê**  
**Fonte: Os Autores (2017)**

dendo as questões de cada pergunta e tudo é descrito na tabela, formalizando a responsabilidade de cada envolvido e informando a todos dos passos seguintes no processo. O Quadro 4 traz a ferramenta 5W1H criada para o alarme eixo drive rolo clichê.

Na Fase 4, a verificação da solução do problema ocorre, ou seja, a solução aconteceu conforme o esperado? Conseguiu-se o bloqueio do alarme?

Na Fase 5, o acompanhamento trata da constatação de que a ação surtiu efeito e que o mesmo alarme não voltou a ocorrer ou, pelo menos, que a frequência reduziu bastante a ponto de ser irrelevante no processo. Tal acompanhamento deve ser realizado pelos próximos três meses para tal certificação.

A Fase 6 é muito importante pois trata da documentação, do registro de tudo o que foi feito, das ações e procedimen-

Fluxograma	Fase	Objetivo
1 	Identificação do problema	Segundo diagrama de Pareto e relevância do alarme, definir claramente o problema e reconhecer sua importância.
2 	Observação / Análise	Investigar as características específicas do problema com uma visão ampla e sob vários pontos de vista.
3 	Ação	Traçar o plano de ação visando o bloqueio do problema estudado.
4 	Verificação	Verificar os resultados e bloqueio da ocorrência. Surtiu o efeito esperado? Alguma lacuna ficou aberta?
5 	Acompanhamento	Uma vez solucionado deve-se acompanhar para evitar nova ocorrência.
6 	Documentação	Deixar documentado tudo que foi feito para posterior consulta se necessário for.

**Quadro 5 – Método de solução de problemas sugerido para o projeto**  
 Fonte: Os Autores (2017)

tos para com o alarme. Isto facilita a consulta numa ação futura do mesmo problema ou problema similar.

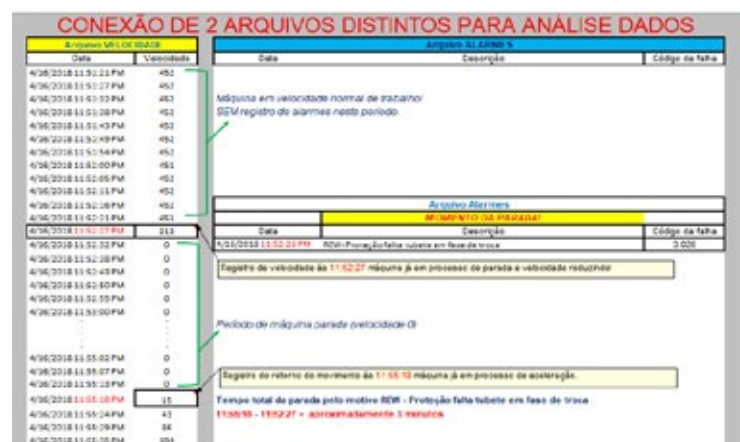
O Quadro 5 explode “a relação de atividades a serem realizadas na análise de cada alarme tendo como base o método de solução de problemas criado por Campos (2014b, p. 67).

Assim deve ser realizado para as principais falhas, até o percentual acumulativo de 80%, aproximadamente.

**1.5 Obtendo informações relevantes com o confronto de arquivos e análise do cruzamento dos dados**

Os dados são disponibilizados e registrados pelo sistema, mas há a necessidade de trabalhar nos arquivos para então extrair as melhores e mais relevantes informações. No arquivo da velocidade, a cada cinco segundos uma leitura de velocidade é realizada e gravada. Essa informação é relevante por basicamente dois motivos: o primeiro é poder verificar a velocidade de trabalho principalmente em períodos onde a liderança está ausente, e o segundo é de permitir a possibilidade de fazer o confronto dos dados de velocidade, isto é, tempo de máquina parada *versus* alarmes da máquina registrados.

Com o sistema implementado e em teste, percebeu-se que para melhor trabalhar nas principais causas de inatividade do equipamento, nem sempre as maiores frequências dos alarmes registrados representam os maiores problemas, e que por consequência são os que imediatamente precisam ser trabalhados. Há outro fator determinante que é o tempo de parada de máquina pertinente à ocorrência. Significa dizer que uma falha que aconteceu dez vezes com tempo total de parada de 60 minutos, é provavelmente menos relevante que outra falha ocorrida uma única vez, porém com tempo de parada de 50 minutos, por exemplo.



**Figura 8 – Informações obtidas com o cruzamento de informações**  
 Fonte: Os autores (2019)

Esse controle pode ser mais bem visualizado confrontando as informações dos relatórios disponibilizados conforme demonstra a Figura 8. Na coluna da esquerda tem-se a tabela com o registro de velocidade, data e horário. Na coluna da direita têm-se os registros dos alarmes com data e horários. Faz-se uma relação entre ambos para determinar o tempo de parada de cada alarme.

No exemplo da Figura 8, às 11:52:21PM a velocidade da máquina era de 451 m/min e às 11:52:26PM ocorreu o alarme de REW-Proteção falta tubete em fase de troca. Em consequência do alarme a máquina entra em desaceleração para a parada e às 11:52:27 PM a velocidade já estava em 313m/min, e às 11:52:32 PM estava parada. Tem-se na sequência vários registros de velocidade 0m/min, ou seja, máquina parada, e às 11:55:18 PM há o primeiro registro de retomada de velocidade, e na sequência o registro dos incrementos de velocidade.

Essa informação de tempo de inatividade de máquina

de três minutos é também importante ao gestor, e não somente a frequência com que ela ocorreu no turno ou dia de produção. Este é somente um exemplo, mas para os demais alarmes há a realização da mesma análise e informação do tempo de interferência no processo.

## CONCLUSÃO

O objetivo deste artigo é o de propor o uso das informações disponibilizadas pelos próprios equipamentos no desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de produção, visando auxiliar na programação da manutenção e nas melhorias dos processos no chão de fábrica. A aquisição de informações diretamente do processo produtivo e sem a interferência humana no registro dos dados e, a atenção e cuidado em trabalhar corretamente com estes nas oportunidades identificadas, são de suma importância no auxílio das atividades de manutenção e no controle das operações de manufatura.

Para gerir todas as informações obtidas pelo sistema, foi sugerida a utilização do método MASP associado de algumas ferramentas da qualidade. O método MASP quando bem organizado e estruturado pode trazer resultados positivos para a empresa, porém deve-se atentar em obedecer a sua sequência, etapa por etapa, ou seja, deve-se ter a disciplina para aplicá-lo.

Tecnologias para a aquisição de dados estão cada vez mais disponíveis e, quanto mais dados se obtém do processo, mais

conhecimentos podem ser gerados a partir do entendimento destes dados, pois eles refletem exatamente o que acontece no dia a dia da empresa. Fazer a mineração e a formatação dos dados a partir das oportunidades levantadas, salvando os dados realmente úteis, gerir o conhecimento valioso disponibilizado pelos relatórios, permite que as equipes de produção e de manutenção agreguem conhecimento e façam um planejamento muito mais preciso, atuando nos pontos certos e relevantes.

A base desse sistema de gerenciamento de produção é o conhecimento da leitura do processo – em seguida tem-se o trabalho com a mineração e ordenação desse conhecimento e, por fim, o envolvimento da equipe, aliado ao uso das ferramentas e técnicas, fecha o ciclo dessa análise, mas não necessariamente encerram, afinal, sempre há algo a ser melhorado!

A tecnologia disponível no chão de fábrica, a manufatura e a informação devem ser vistas como uma vantagem competitiva para a organização. Elas têm relação direta com o desempenho da produção, com a disponibilidade do equipamento e, por consequência, interferência na eficiência da produção. Obviamente quanto maior o tempo de máquina em funcionamento e quanto menor o refugo, maior será a produção. O conhecimento gerado a partir do aprendizado com as informações obtidas da própria área, unido ao envolvimento das equipes nas análises e no uso de ferramentas da qualidade, compõe a receita ideal da elevada eficiência em todo o processo. ■

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, S. **Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao programa Seis Sigma**. Belo Horizonte-MG: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2002.
- ALVES, R. de P.; FALSARELLA, O. M. **Modelo conceitual de inteligência organizacional aplicada à função manutenção**. Revista Gestão e Produção, p. 313-324, 2009.
- BAHETI, R.; GILL, H. **Cyber-physical systems**. The Impact of Control Technology, n. 1, p. 161-166, 2011.
- CAMPOS, V. F. **Gerenciamento pelas diretrizes**. Belo Horizonte-MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 2013.
- CAMPOS, V. F. **Qualidade total. Padronização de empresas**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2014a.
- CAMPOS, V. F. **TQC – Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)**. 8. ed. Belo Horizonte-MG: Editora de Desenvolvimento Gerencial 2014b.
- CANDIDO, G. A. *et al.* **Arquitetura tecnológica de informações e suas implicações na forma de gestão e na competitividade das organizações**. Informação & Sociedade: Estudos, n. 10, 2000.
- CARRIJO, José R. S. **Adaptações do modelo de referência do Total Productive Maintenance para empresas brasileiras**. Tese apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção. Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo da Universidade Metodista de Piracicaba-SP. Santa Bárbara do Oeste, 2008. Disponível em: [http://iepapp.unimep.br/biblioteca\\_digital/pdfs/docs/19092012\\_171904\\_josericardoscarelcarrijo.pdf](http://iepapp.unimep.br/biblioteca_digital/pdfs/docs/19092012_171904_josericardoscarelcarrijo.pdf) Acesso em: 12 fev. 2020.
- DALLARETTI FILHO, O. **As sete ferramentas do planejamento da qualidade**. Belo Horizonte-MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1996.
- DAVIES, R. **Industry 4.0. digitalisation for productivity and growth**. European Parliamentary Research Service, n. 10, set. 2015.
- FERREIRA, F. P. **Análise da implantação de um sistema de manufatura enxuta em uma empresa de autopeças**. s.l.: s.n., 2004.
- FIRJAN. **Panorama da Inovação – Indústria 4.0**. 2016. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-inovacao/industria-4-0-1.htm>. Acesso em: 12 maio 2018.

- GANDOMI, A.; HAIDER, M. **Beyond the hype: big data concepts, methods, and analytics**. International Journal of Information Management, n. 35, v. 2, p. 137-144, 2015.
- GÖLZER, P.; CATO, P.; AMBERG, M. **Data processing requirements of industry 4.0**. In: EUROPEAN CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS ECIS, 0., 2015, s.l. *Anais...* s.l.: s.n., 2015, p. 1-13.
- JESCHKE, S. R. A. U. **Engineering Education for Industry 4.0**. s.l.: s.n., 2015.
- LABRINIDIS, A.; JAGADISH, H. V. **Challenges and opportunities with big data**. Proceedings of the VLDB Endowment, v. 5, n. 12, p. 2032-2033, 2012.
- LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. A. A **Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems**. Manufacturing Letters, n. 3, p. 18-23, 2015.
- LEE, J.; KAO, H.; YANG, S. **Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment**. Procedia CIRP, n. 16, p. 3-8, 2014.
- LIU, Y.; XU, X. **Industry 4.0 and cloud manufacturing: a comparative analysis**. v. 139, n. 3, p. 1-8, 2017.
- LTIFI, H. *et al.* **Enhanced visual data mining process for dynamic decision-making**. Knowledge-Based Systems, n. 112, p. 166-181, 2016.
- MONOSTORI, L. *et al.* **Cyber-physical systems in manufacturing**. CIRP Annals – Manufacturing Technology, v. 65, n. 2, p. 621-641, 2016.
- POSADA, J. *et al.* **Visual Computing as a key enabling technology for industrie 4.0 and industrial internet**. IEEE Computer Graphics and Applications, v. 35, n. 2, p. 26-40, 2015.
- RAJKUMAR, R. *et al.* **Cyber-physical systems: the next computing revolution**. ACM/IEEE DESIGN AUTOMATION CONFERENCE (DAC), 47., 2010, s.l. *Anais...* s.l.: s.n., 2010. p. 731-736.
- RAMALHO, F. A. **Production about information needs: Informação & Sociedade: Estudos on focus**. Informacao & Sociedade, n. 22, Especial, p. 101-120, 2012. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84872296806&partnerID=40&md5=d135b746cfb14c7b0f268c7a4bd0808a>. Acesso em: 12 maio 2018.
- REINER, A. **Industrie 4.0 – Advanced engineering of smart products and smart production**. International Seminar on High Technology, p. 1-14, out. 2014.
- SHAFIQ, S. I. *et al.* **Virtual engineering object/virtual engineering process: a specialized form of cyber physical system for industrie 4.0**. Procedia Computer Science, v. 60, n. 1, p. 1146-1155, 2015.
- SHIBA, S.; GRAHAM, A.; WALDEN, D. **TQM quatro revoluções na gestão da qualidade**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.
- SILVA, E. M. da. **MASP – Metodologia de Análise de Solução de Problema**. 2016. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/masp-metodologia-de-análise-solução-problema-edson-miranda-da-silva/?trk=mp-reader-card>. Acesso em: 12 maio 2018.
- SILVA, E. M. da. Os 8 desperdícios mais comuns em empresas: saiba como identificar e evitá-los. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/os-8-desperdícios-mais-comuns-em-empresas-saiba-como-edson/>. Acesso em: 28 ago. 2017.
- SILVA, Glauco G. M. P. da *et al.* **Manufatura enxuta, GEMBA KAIZEN e TRF: uma aplicação prática no setor têxtil**. Rio de Janeiro: Enegep, 2008. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008\\_tn\\_sto\\_069\\_490\\_11621.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_tn_sto_069_490_11621.pdf) Acesso em: 12 maio 2018.
- SILVA, G. G. M. P. da G. M. P. *et al.* **Manufatura Enxuta, Gemba Kaizen e TRF: uma aplicação prática no setor têxtil**. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, [s.l.], 2008, *Anais...* [s.l.]: [s.n.], 2008. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008\\_tn\\_sto\\_069\\_490\\_11621.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_tn_sto_069_490_11621.pdf). Acesso em: 12 maio 2018.
- SILVA NETO, M. A. **Técnicas de mineração visual de dados aplicadas aos dados de instrumentação da barragem de Itaipu**. Gestão & Produção, v. 17, n. 4, p. 721-734, 2010.
- SILVEIRA, C. B. **Diagrama de Ishikawa, causa e efeito ou espinha de peixe**. 2016. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/diagrama-de-causa-e-efeito-ishikawa-espinha-peixe/>. Acesso em: 12 maio 2018.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2015.
- VIEIRA, Sonia. **Estatística para a qualidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
- YEN, C. T. *et al.* **Advanced manufacturing solution to industry 4.0 trend through sensing network and Cloud Computing technologies**. IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, p. 1150-1152, jan. 2014.
- YIN, S. *et al.* **Data-based techniques focused on modern industry: an overview**. IEEE Transactions on Industrial Electronics, v. 62, n. 1, p. 657-667, 2015.