

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC

CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM MBA GESTÃO DA MANUTENÇÃO

MELHORIA DA DISPONIBILIDADE NA PRODUÇÃO DE COBRE ELETROLÍTICO: UM ESTUDO DE CASO EM MÁQUINA PRODUTORA DE PLACAS DE CÁTODOS

Derik Almeida dos Santos¹
Luiz Carlos B. dos Santos²
Marinilda Lima³

RESUMO: Nos processos produtivos, ainda existem vários motivos para paradas de máquinas e equipamentos, que podem ser desde uma atividade de rotina operacional, troca de turno e até uma parada para manutenção seja ela semanal ou mensal. Estas paradas impactam na produtividade, já que os equipamentos trabalham na fronteira de sua capacidade produtiva, ocasionando perda de produtividade. Assim, este artigo apresenta o estudo de caso cujo objetivo é propor melhoria para o aumento da disponibilidade de uma máquina de produção de placas de cobre. Vale ressaltar que, devido ao grande número de paradas não programadas por causa de falhas recorrentes, o sistema apresentava baixo desempenho. Utilizou-se como metodologia o diagrama de Pareto, o PDCA e o 5 por que. No estudo pode-se observar um resultado satisfatório após a implantação das ações de melhoria identificadas.

Palavras-Chave: gestão, manutenção, disponibilidade, falhas, ferramentas de qualidade

1. INTRODUÇÃO

Segundo Kardec e Nascif (1997), a missão da Manutenção é “garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender um processo de produção e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custo adequados”.

¹Pós-Graduando no MBA em Gestão da Manutenção Centro Universitário SENAI CIMATEC. E-mail: derick.unibahia@gmail.com

²Pós-Graduando no MBA em Gestão da Manutenção Centro Universitário SENAI CIMATEC. eng.bispo31@gmail.com

³Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial. Possui MBA em Gestão da Manutenção. Docente do Centro Universitário SENAI CIMATEC. E-mail: marinilda.lima@fiab.org.br

Na economia globalizada, a sobrevivência das organizações depende de sua habilidade e rapidez de inovar e efetuar melhorias contínuas. Como resultado, as organizações vêm buscando incessantemente novas ferramentas de gerenciamento, que as direcionem para uma maior competitividade através da qualidade e produtividade de seus produtos, processos e serviços (KARDEC, 2004).

Garantir disponibilidade e produzir resultados (XAVIER, 2005) de modo a se tornarem mais competitivas, as empresas necessitam que as funções básicas representadas pelos diversos departamentos de sua estrutura apresentem resultados excelentes na busca de status de excelência ou classe mundial (MIRSHAWKA, 1993).

A manutenção, como função estratégica das organizações é responsável direta pela disponibilidade dos ativos, tem importância capital nos resultados da empresa. Esses resultados serão tanto melhores quanto mais eficaz for a gestão da manutenção.

Segundo dados estatísticos da Abraman (2017, Documento nacional, custos de manutenção) Mostram que os custos relativos com manutenção no Brasil têm se mantido constantes com aproximadamente 4% sobre o faturamento bruto. Portanto esta realidade demonstra que as organizações devem procurar as melhorias contínuas na sua gestão da manutenção, buscando-se incessantemente dos conhecimentos inovadoras e aplicação das melhores práticas da manutenção já praticadas nas organizações dos países do primeiro mundo.

De acordo com Amarante (1997) o cobre é o metal não ferroso mais utilizado, após o alumínio, por ser excelente condutor de eletricidade e calor. A indústria de cobre primário se organiza em torno de quatro tipos de produtos, originados em etapas distintas dos processos de extração, fundição e refino, os quais estão relacionados a seguir:

O cobre tem extenso uso nas indústrias de fios e cabos elétricos, que absorve mais de 50% desse metal, sendo o restante utilizado em ligas especiais, tubos, laminados e extrudados.

Segundo (indústria do cobre BNDES), existem dois processos básicos de produção de cobre primário: o processo piro metalúrgico, mais utilizado para os minérios sulfetados, e o processo hidro metalúrgico, apropriado para a extração de cobre de minérios oxidados de baixo teor.

Desde sua implantação a máquina de estripagem de cátodo permanente, tem operado com muitas paradas. Baseando-se numa situação real, onde o setor de produção de placas de cátodo (cobre) registrava grandes perdas de produtividade devido à indisponibilidade do equipamento por paradas de manutenção não programadas e também devido ao crescente número de reclamações pela equipe de operação pela baixa disponibilidade do equipamento pelas interrupções de produção por quebras/ falhas (dados

retirados do PI Processbook), o objetivo deste trabalho é analisar a possibilidade de melhoria de eficiência de uma máquina da área de eletrólise de uma empresa produtora de cobre, através de melhoria no indicador de disponibilidade, que apresentava um elevado número de falhas.

2. DESENVOLVIMENTO

Durante o processo Piro metalúrgico o concentrado é submetido ao forno flash, de onde sai o mate com teor de 45 à 60% e este ao forno conversor de onde obtêm-se o blister com 98% de cu. No eletro-refino, o cobre é dissolvido do anodo, e percorre através do eletrólito até a superfície do cátodo de chapa de partida ou aço inox (cátodo permanente), onde será eletro depositado na forma metálica.

A tecnologia de chapas de partidas na eletrolise de cobre utiliza-se, normalmente, uma folha de cobre de 0,5 a 1,0 mm de espessura, que se constitui no cátodo inicial, esta chapa de partida deverá ter qualidade parecida àquela pretendida para o catodo, uma vez que ela ficara aprisionada no catodo final, onde o cobre é depositado na chapa de partida.

A tecnologia de catodo permanente consiste em utilizar placas de aço inoxidável 316 L como catodo ao invés de chapas de partida de cobre. O anodo é enviado para a eletrólise e dispostos em pares com os catodos de aço inox nas células eletrolíticas. A Figura 1 a seguir ilustra o equipamento em operação, onde é possível visualizar os robôs de carga/descarga e as placas de cátodos (cobre).

Figura 1: Robôs de carga/descarga e as placas de cátodos

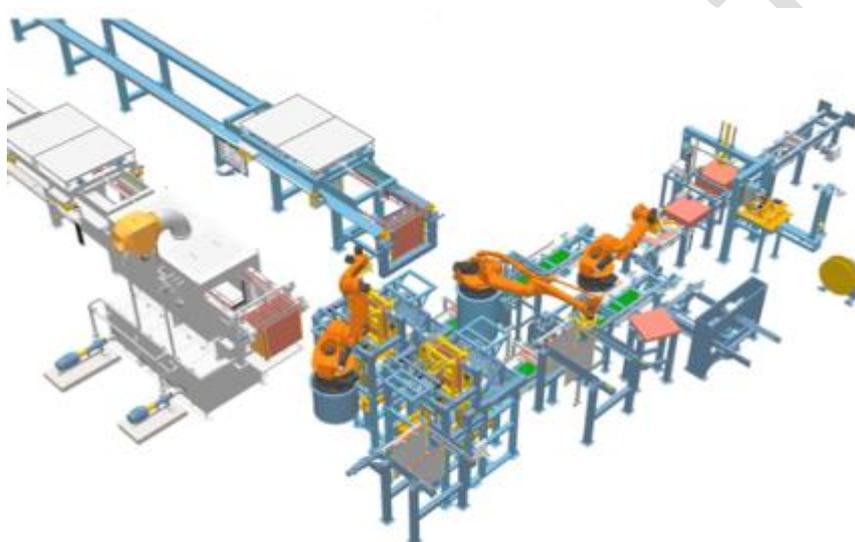


Fonte: Elaborado pelo autor, (2017)

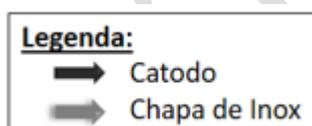
Vale ressaltar que, um dos componentes que impactam em perdas da máquina é a ferramenta do robô 01, responsável pela retirada da placa de inox com catodo e colocação

na unidade de estripagem. A Figura 2 a seguir ilustra o *layout* em 3d e o fluxograma de utilização do equipamento em estudo.

Figura 2: Layout do sistema



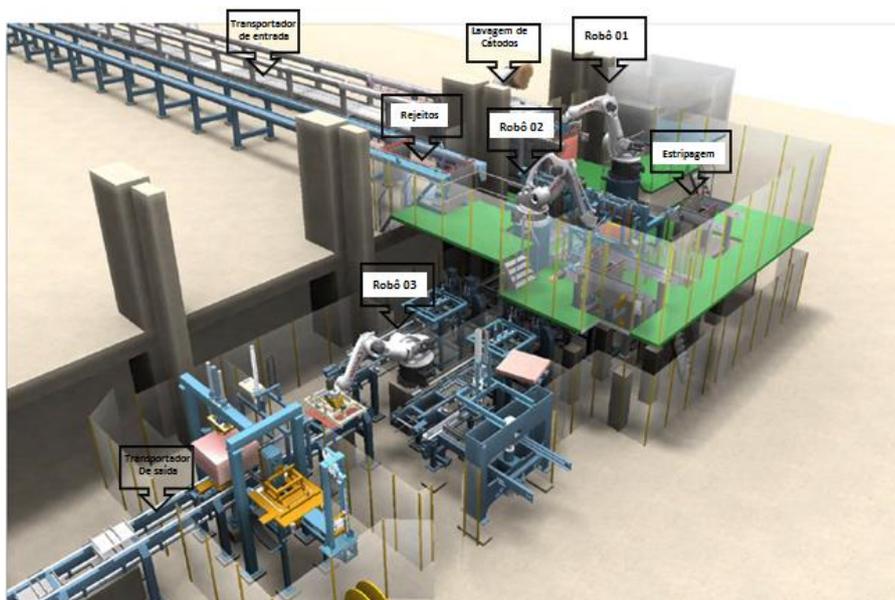
Full Deposit Robot Stripping Machine



Fonte: Elaborado pelo autor, (2017)

Já a Figura 3 a seguir, mostra o Fluxograma do Processo

Figura 3: Fluxograma de Processo



Fonte: Elaborado pelo autor, (2017)

2.1 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi elaborado em uma empresa metalúrgica no segmento de cobre no período de janeiro a julho do ano de 2017.

Como ação inicial foi formado um grupo de estudo de caso com a proposta de manter o encerramento das reuniões até que o equipamento obtivesse uma maior estabilidade operacional com aumento da disponibilidade, redução do *Mean Time to Repair* (MTTR) e aumento do *Mean Time Between Fail* (MTBF).

As reuniões diárias aconteceram ao longo dos meses seguintes sempre com o monitoramento dos indicadores, verificação do plano de ação e avaliação das paradas.

O time de trabalho foi composto pela equipe da coordenação, engenharia, supervisores, técnicos, mecânicos, eletricitas e operadores.

No mês de abril de 2017, as frequências das reuniões deixaram de ser diárias e passaram a ser duas vezes na semana, e após o mês de julho do mesmo ano, o grupo de estudos foi encerrado pois, os níveis dos indicadores atingidos foram satisfatórios. Assim, foi preciso manter a rotina de manutenção e as boas práticas adotadas durante o estudo.

2.2 A METODOLOGIA UTILIZADA NO ESTUDO DE CASO

Para estruturar o estudo de caso foram utilizadas as ferramentas: Diagrama de Pareto, o ciclo PDCA e o 5 por quês.

O diagrama de Ishikawa ou de espinha de peixe foi utilizado para identificação dos pontos vulneráveis e análise das causas potenciais de variação do processo, determinar os problemas e colocar energia para minimizar/ resolver da melhor forma possível.

Na sequência a ferramenta utilizada PDCA para análise e solução de problema, visando a melhoria contínua do processo. Com base nas informações todas as etapas do ciclo foram seguidas.

Também foi adotada a ferramenta 5 por quês para entendimento do modo de falha, alinhamento das informações do time de trabalho, traçar planos de eliminação de falhas.

2.3 A ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Inicialmente foram extraídas no PI Processbook todas as paradas do equipamento em estudo, após os dados foram compilados e feito o Pareto para visualização dos maiores ofensores com a finalidade de tratar os de maiores impactos a produção. A partir dos dados passamos a utilizar o PDCA para agir no entendimento das ocorrências, planejar e agir.

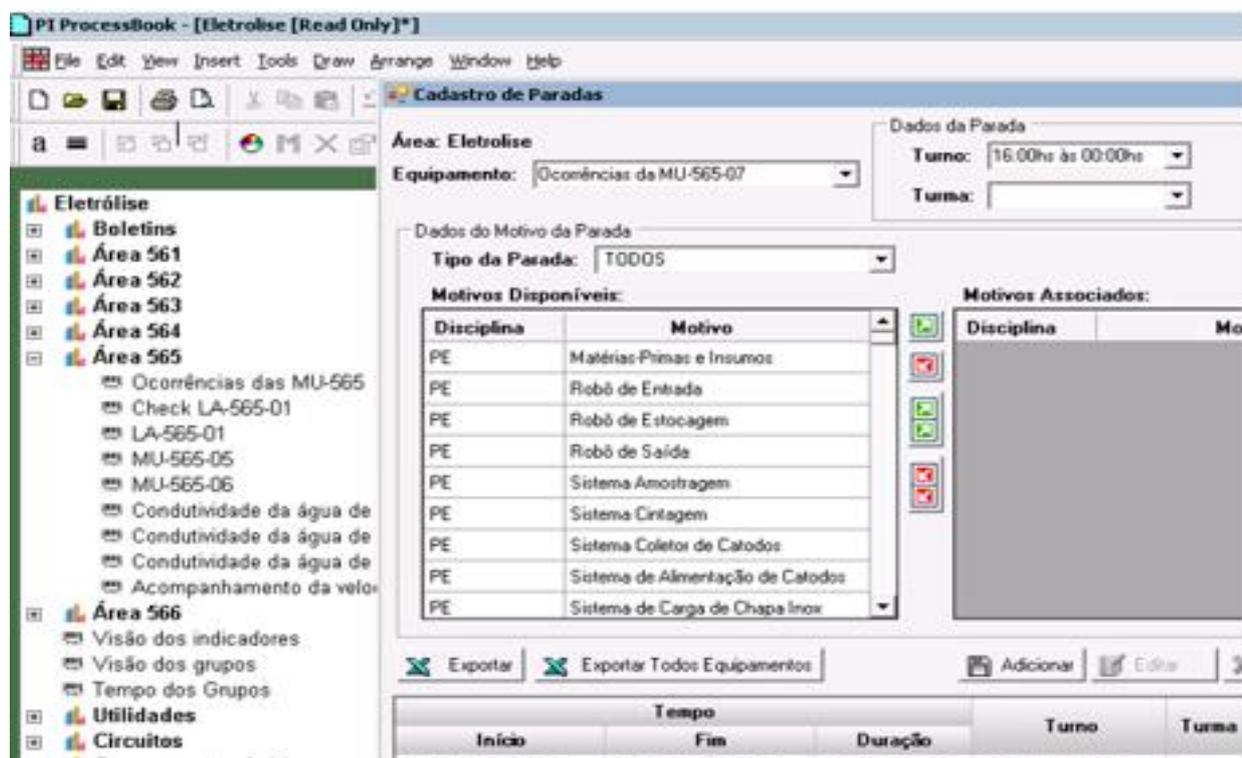
A ferramenta Ishikawa e 5 Por quês foram introduzidas para entendimento da falha já que a máquina possuía uma nova tecnologia.

A planta onde ficava localizada a máquina possuía um único indicador de disponibilidade geral, onde era calculada a disponibilidade média de todos os equipamentos localizados nesta planta, não havendo indicadores específicos por equipamento. Como primeiro passo foi efetuado o levantamento dos dados de histórico de falhas lançados pelos operadores do equipamento no sistema *PI Processbook*.

Os dados de falhas foram extraídos no período de 01/01/2017 até 31/03/2017 e foram filtradas apenas as paradas de manutenção por falhas.

A Figura 4 a seguir ilustra a tela do programa PI Processbook citando as ocorrências no equipamento.

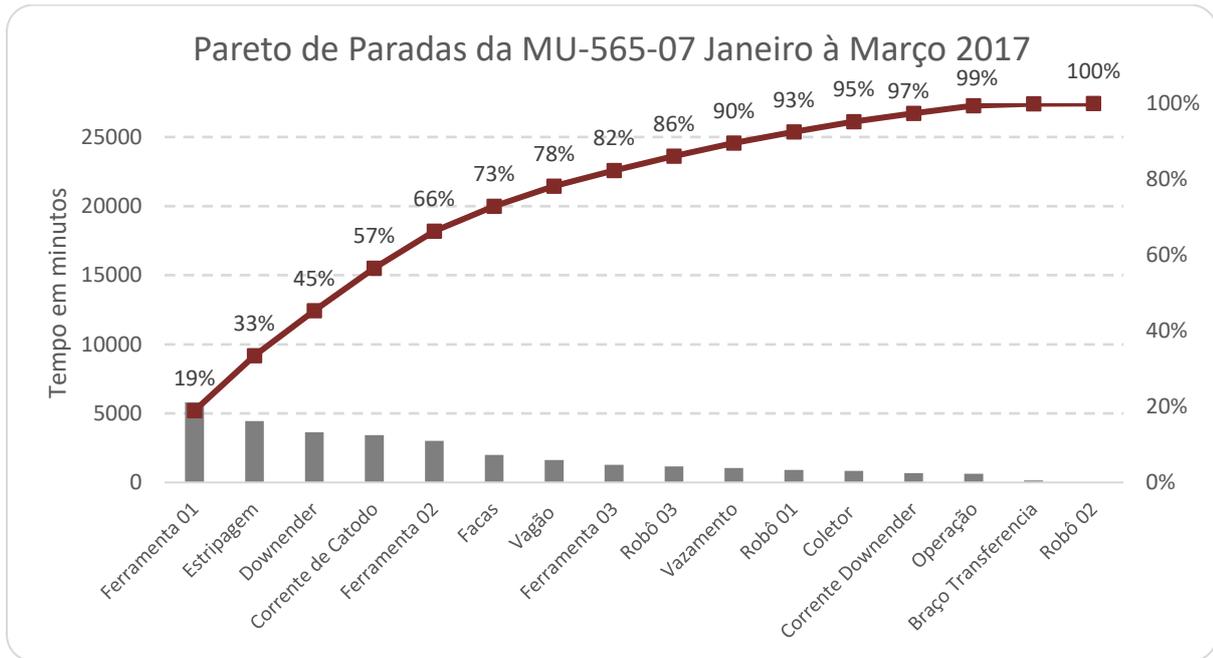
Figura 4: Tela do PI Processbook.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2017)

Com os dados falhas estratificados foi criado um Diagrama de Pareto com a finalidade de identificar quais subsistemas do equipamento possuíam maior incidência de falhas, para que fosse possível canalizar o recurso nos pontos que trariam os maiores retornos. A Figura 5 a seguir ilustra o Gráfico de Pareto e os principais ofensores.

Figura 5: Gráfico de Pareto e os principais ofensores



Fonte: Elaborado pelo autor, (2017).

Pode ser observado no Gráfico de Pareto acima que um dos componentes que causam maiores perdas da máquina é a ferramenta do robô 01, responsável pela retirada da placa de inox com catodo e colocação na unidade de estripagem.

Assim, foram verificados no sistema os tempos diários de operação da máquina para construção da tabela que daria origem aos indicadores de manutenção, não foram contabilizados os tempos de ociosidade da máquina e nem os dias em que não houve programação de operação.

Os indicadores que foram construídos com frequência diária no período de 01/01/2017 até 31/03/2017, como a disponibilidade e *Mean time to Repair* (MTTR). O indicador de *Mean time Between Failures* (MTBF) não foi construído no mesmo modelo, pois o tempo de operação da máquina variava de um dia para o outro, pois dependia da quantidade de grupos de catodos que eram programados para serem processados no dia, sendo esse indicador acompanhando de forma mensal.

Com os dados compilados foi criado um o grupo de estudos dedicado a buscar solução até que o equipamento obtivesse uma maior estabilidade operacional com aumento da disponibilidade, redução do MTTR e aumento do MTBF. As reuniões aconteceram ao longo dos meses seguintes sempre com o monitoramento dos indicadores, verificação do plano de ação e avaliação das paradas.

Uma vez elaborado o Pareto para identificar os maiores ofensores foi utilizado a metodologia PDCA como ferramenta de análise e solução de problema, visando a implementação de melhoria do processo, eliminação das anomalias bem como, conseguir

atingir a meta da disponibilidade no nível desejado. O método está dividido nas seguintes etapas: planejar (Plan), realizar (Do), checar (Check) e atuar (Act).

Planejar (Plan):

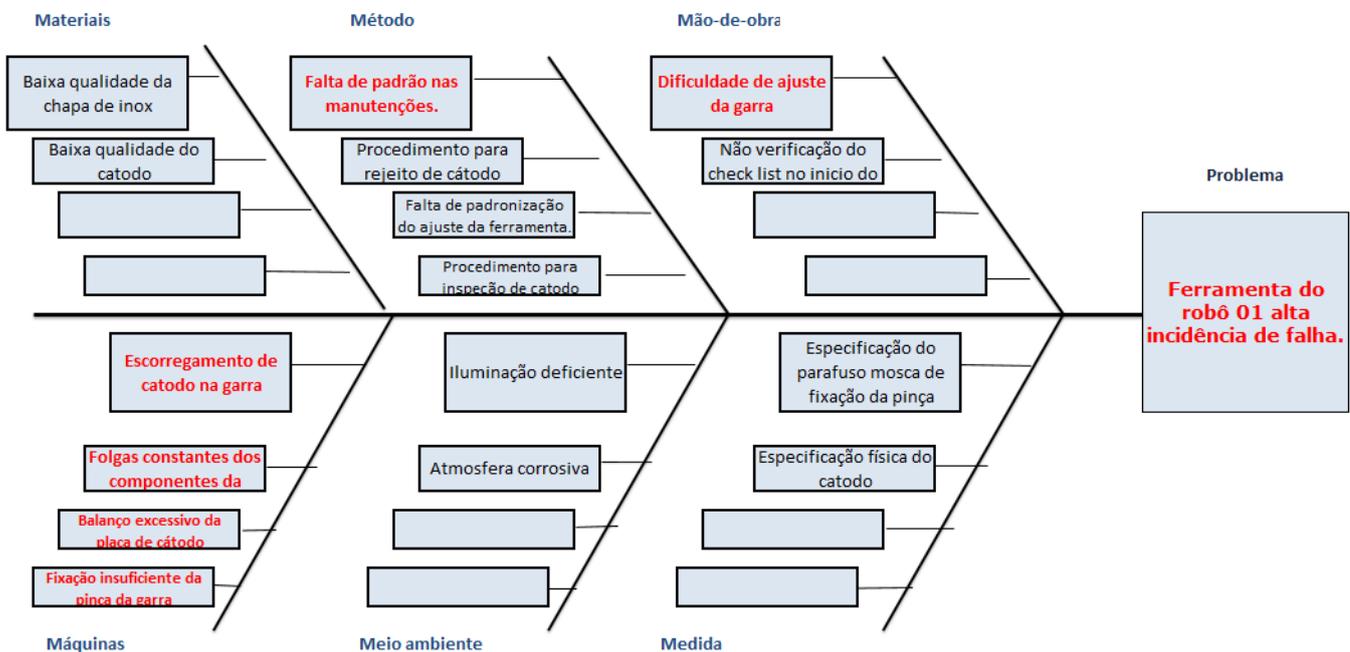
2.3.1 Identificação do problema

Para identificação do problema, foi realizado o levantamento dos ofensores da máquina de estripar catodo utilizando dados do boletim de parada dos equipamentos inserido no PI, pelos operadores da máquina. Conforme ilustrado na Figura 5 o maior ofensor identificado foi a falha da garra do robô 01. Assim, foi analisado, mas especificamente, o problema da garra do robô 01.

2.3.2- Análise do problema Garra do robô 01

Para análise do problema e busca das causas fundamentais das falhas na ferramenta do robô 01, foi utilizado o diagrama do Ishikawa e o método dos 5 por quês. A Figura 6 a seguir, mostra o diagrama com as falhas potenciais destacadas em vermelho.

Figura 6 - Diagrama de Ishikawa



Fonte: Elaborado pelo autor, (2017)

Já a Figura 7 a seguir, ilustra a análise dos 5 por quês da ferramenta do robô 01.

Figura 7: 5 Por quês

Item	Possíveis Causas	Por quê?	Por quê?
------	------------------	----------	----------

1	Folgas constantes dos componentes da ferramenta	Ferramenta não absorve grande variação de espessura	Limitação de projeto da ferramenta do robô 1 em absorver variação de espessura
2	Balanço excessivo da chapa de cátodo	Não foi previsto no projeto grande nodulação de cátodo	Falha durante especificação/ projeto da ferramenta
3	Fixação ineficiente da pinça da ferramenta	Constantes folgas das buchas da ferramenta	Desgaste elevado das buchas das pinças
4	Escorregamento de cátodo na ferramenta	Ponto de fixação deficiente	Desgaste das pastilhas
5	Dificuldade de ajuste da ferramenta	Não existe procedimento para ajuste	Não foi realizado procedimento na entrega do projeto
6	Falta de padrão nas manutenções das ferramentas	Não existe desenho de detalhe da ferramenta	Projeto entregue sem detalhamento de peças

Fonte: Elaborado pelo autor, (2017)

2.3.3 Plano de Ação (DO).

Para as causas básicas da falha da ferramenta do robô 01 encontradas foi gerado e implementado o seguinte plano de ação, mostrado na Figura 8 a seguir.

Figura 8: Plano de Ação

Item	Causas básicas	Como
1	Limitação de projeto da ferramenta do robô 01 em absorver variação de espessura do cátodo.	Aquisição de dispositivo para possibilitar variações de espessura de cátodo.
2	Falha durante especificação/ projeto da ferramenta	Melhorar pontos de fixação da ferramenta para diminuir a incidência de ajuste do robô durante operação da máquina.
3	Pinça com esforço axial não contemplado no projeto.	Aumentar a robustez da pinça de estabilização.
4	Pinça de travamento não fecha totalmente.	Melhorar pinça que segura a barra da placa de inox.
5	Não foi realizado procedimento na entrega do projeto.	Criar procedimento para ajuste da ferramenta.
6	Não há especificação detalhado dos componentes no projeto.	Redesenhar e especificar componentes da ferramenta do robô 1.
7	Projeto entregue sem detalhamento de peças.	Redesenhar e especificar componentes da ferramenta do robô 1.

Fonte: Elaborado pelo autor, (2017)

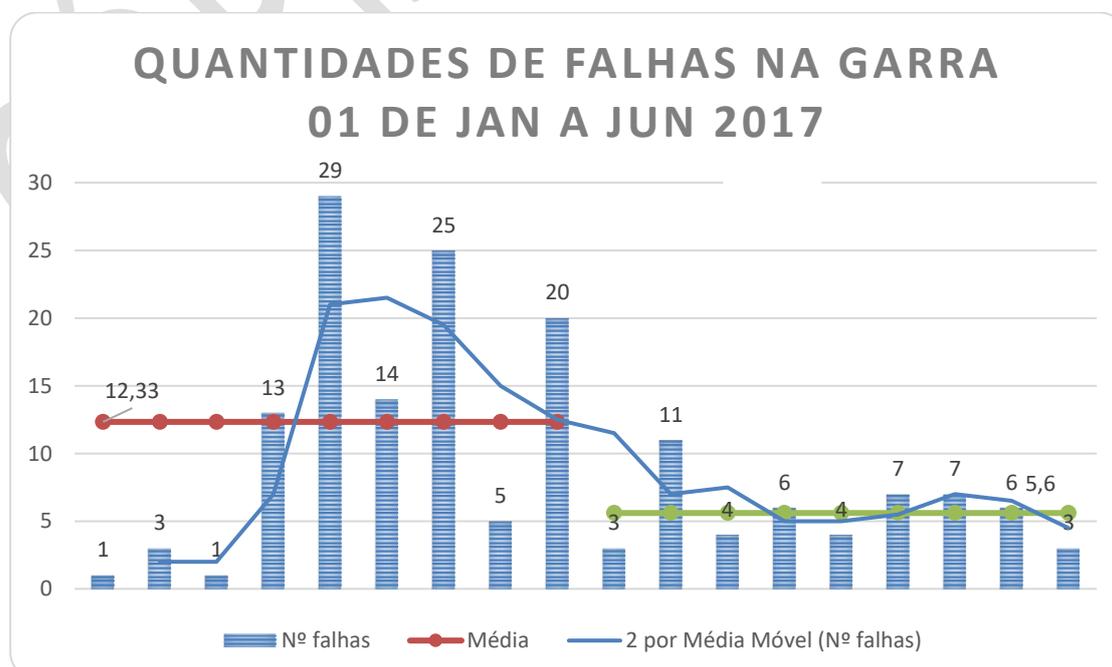
Durante o período das análises de falhas e acompanhamento do equipamento foi observado que as placas de catodos não possuíam uma espessura padronizada devido ao processo e que a garra do robô parava com frequência. Com base na falha FOI identificada junto ao fabricante um dispositivo ajustável por molas que absorvia a variação de espessura.

Outros pontos foram levantados como: a melhoria de pontos de fixação, aumento de espessura de peças além da elaboração de procedimento para regulagem da ferramenta.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após as implementações das ações ocorridas em julho de 2017, foi possível verificar que houve redução da quantidade de incidência do número de falhas e redução do tempo de reparo conforme mostra o Gráfico 01 abaixo. Vale destacar que, de janeiro a julho de 2017 com a ferramenta original houve 8591 min. de paradas relacionadas à ferramenta.

Gráfico 01- Quantidade de Falhas na Garra 01



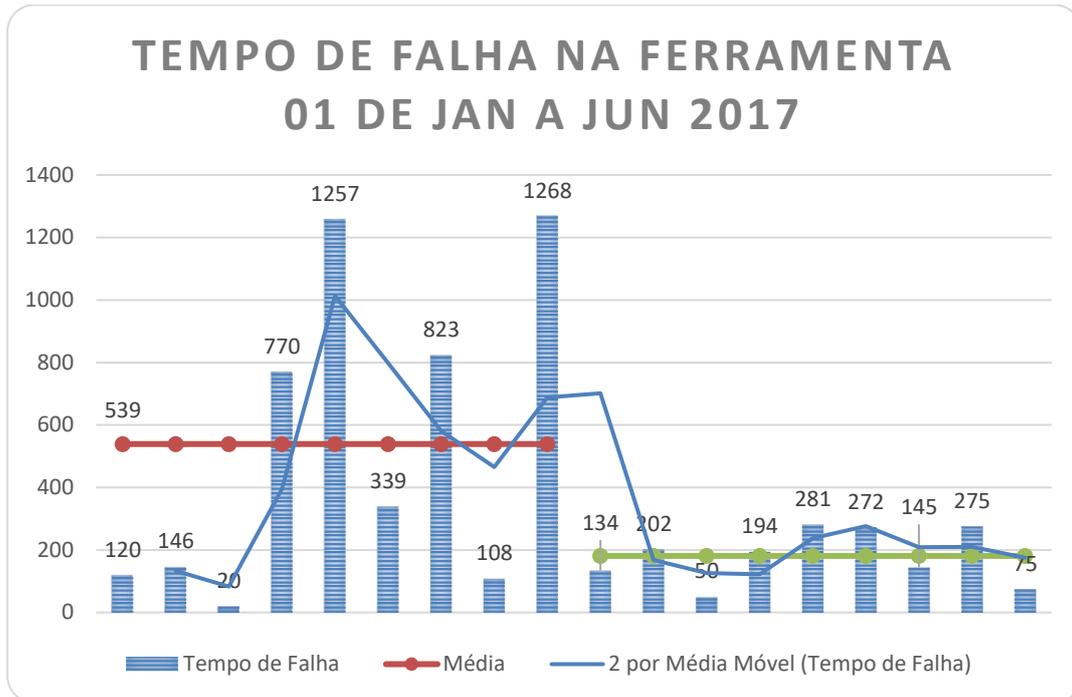
Fonte: Elaborado pelo autor, (2017).

Pode-se observar no Gráfico 1 acima que, ocorreu a redução significativa dos números de falha na ferramenta (garra) do robô 01 após a implementação das ações de melhorias pontuadas; ver linha de tendência em verde.

No primeiro trimestre ocorreram 111 falhas na garra do robô. Após o trabalho do grupo de estudo, no segundo semestre, as falhas reduziram para 51 ocorrências, o que equivale a uma redução de 46%.

O Gráfico 02 a seguir ilustra o tempo de parada em minutos da ferramenta 01 no período de janeiro a junho de 2017.

Gráfico 02 – Tempo de Falha na Ferramenta 01



Fonte: Elaborado pelo autor, (2017).

Ao analisar o Gráfico 02 acima se observa que, é notória a queda das quantidades de falha e tempo de parada relacionado a ferramenta 01, observe novamente a linha de tendencia em verde. No primeiro trimestre do ano de 2017 a garra do robô 01 foi responsável por 4851 minutos das falhas, após as implementações das ações no segundo trimestre do mesmo ano a falha da garra do robô 01 foi o responsável por 1628 minutos; saindo do primeiro ofensor para o quinto da máquina. Em percentual o primeiro trimestre representou 236,9 % das ocorrências reduzindo para 13,1% no segundo semestre.

Na análise dos desvios e implementação das ações corretivas, quanto a ação de melhoria dos pontos de fixação da ferramenta para diminuir a incidência de ajuste do robô durante operação da máquina, após a instalação da ferramenta no robô 01, verificou-se a diferença entre a pinça fixa esquerda em relação a pinça fixa direita. Esta ocorrência foi informada ao prestador de serviço, que constatou que houve falha na fabricação do material. Assim, foi fabricada nova barra fixa, instalada e não se percebeu mais anormalidades.

Outra ação de melhoria implementada foi a padronização dos planos de manutenção. Os planos de manutenção gerados pelo sistema SAP (sistema integrado de gestão empresarial) foram atualizados e estão no fluxo de manutenção.

Vale ressaltar também que, os desenhos atualizados, no total de 39 novos desenhos, gerados para a ferramenta 01 foram disponibilizados no sistema de documentação oficial da empresa e fisicamente no arquivo técnico para consultas dos funcionários.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como o grupo de trabalho durou aproximadamente 6 meses, o estudo aqui apresentado, demonstrou as etapas do processo de análise e implementação de melhoria. Assim, o objetivo deste estudo foi mostrar a aplicação prática de ferramentas e boas práticas de manutenção para aumento de confiabilidade de equipamentos e sistemas, bem como os seus resultados quando aplicado de forma assertiva.

Uma das grandes lições desse estudo de caso foi a quebra de paradigmas com as equipes de manutenção e operação, pois antes do início do grupo de estudo a sugestão da “área” era sempre de modificar o projeto do equipamento e torná-lo mais “robusto”, porém quase 100% das ações aplicadas não tiveram esse viés.

O trabalho de nacionalização mais a redução das falhas, contribuíram bastante para um menor custo de manutenção e o menor prazo para aquisição dos mesmos itens no mercado interno, sem sequer, na maioria das vezes, haver mudanças do fabricante do componente.

Como a fabricante é finlandesa, os itens cadastrados durante o startup da máquina estavam vinculados a *part numbers* da própria empresa fornecedora, que não é a fabricante de componentes como motores, sensores, redutores, cilindros, correntes transportadoras e etc.

As reuniões realizadas diariamente, princípio foram desafiadoras e cansativas, porém com o tempo se mostrou como grande diferencial para o sucesso do projeto, pois essa consistência fez diferença para a disciplina e o comprometimento dos colaboradores com a mudança do cenário da manutenção/operação da máquina aumentassem.

A implantação do método PDCA mostrou-se eficaz para a melhoria contínua do processo e diversas ações foram implementadas durante o case, sendo as ações abaixo as que tiveram o maior impacto nos resultados:

- Revisão dos planos de inspeção e manutenção;

- Criação de *check-lists* diários para operação e manutenção, devendo ser executado em toda troca de turno;
- Cadastro de sobressalentes;
- Aquisição de sobressalentes;
- Nacionalização de materiais;
- Revisão da política de ressurgimento dos sobressalentes;
- Criação de lista técnica;
- Criação de procedimentos para manutenção e operação;
- Pequenas melhorias em componentes;
- Restabelecimento de componentes adaptados;
- Criação de rotina para análise de falhas;

Neste sentido, fica evidente que um trabalho de base da manutenção/operação simples, porém bem feito, podem trazer grandes resultados. Outro ponto que merece destaque é a participação do corpo de engenharia juntamente com a operação e manutenção.

REFERÊNCIAS

AMARANTE, Lúcia. Indústria do cobre. São Paulo, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (30/03/2005). ABNT NBR ISO 14644-1 - Salas limpas e ambientes controlados associados. Rio de Janeiro.

CARDOSO, C. (2 de Abril de 2018). Gestão da Manutenção, OEE, TPM. Fonte: Site da kitemes:<http://www.kitemes.com.br/2018/04/02/qual-o-impacto-de-uma-maquina-parada/>

GIL, A. C. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. São Paulo: Atlas, 1996

ISHIKAWA, K. Controle de qualidade total: à maneira japonesa. Rio de Janeiro: Campos, 1993. P. 79

MAAR, J. H. História da química - Primeira Parte - dos primórdios a Lavoisier. Florianópolis: Conceito, 2008.

SOMER, Adriano. Análise e sugestão de melhoria para o sistema de comunicação interna entre pcm e mantenedores para controle de indicadores de desempenho. 2015. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Ponta Grossa, 2015.

VARGAS, Ricardo Viana. Gerenciamento de Projetos: Estabelecendo Diferenciais Competitivos. 7. Ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2009.

VIEIRA, M.G. Introdução à manutenção. Publ. EESC-USP, n. 017/92, 15p., São Carlos, 1991

WILLIAMS, Richard L. "Como Implantar a Qualidade Total na sua Empresa". 1ª edição, Rio de Janeiro Ed.: Campus, 1995.

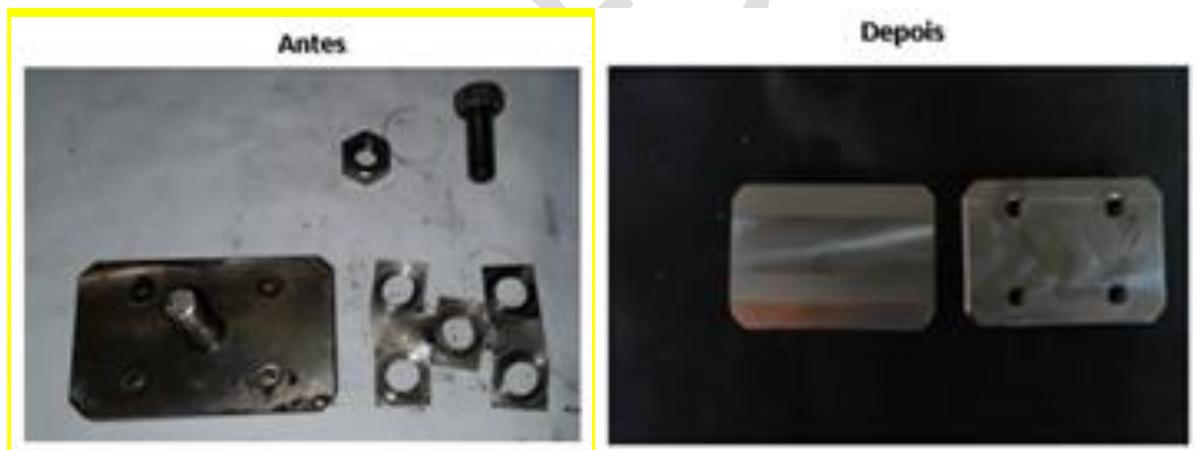
ANEXOS

EVIDÊNCIAS

Melhorar pontos de fixação da ferramenta para diminuir a incidência de ajuste do robô durante operação da máquina;

- Mudança da concepção da placa de encosto para minimizar os ajustes realizados durante operação da máquina.

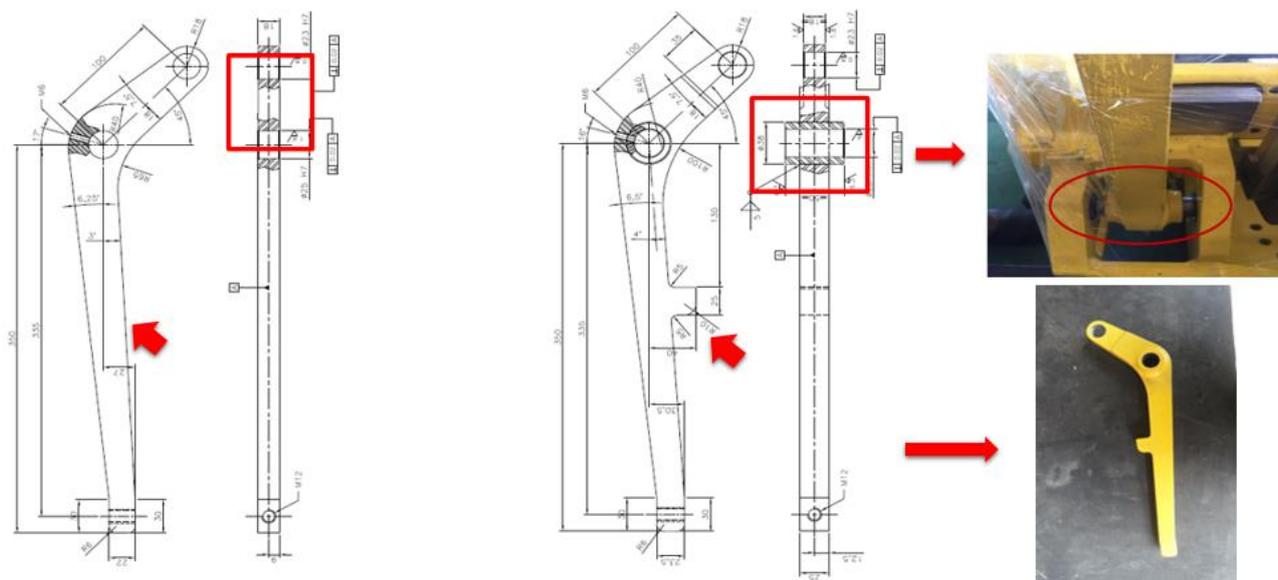
A figura 8 a seguir mostra o antes e depois na melhoria na placa de encosto. Antes da mudança esta placa era dividida em outras pequenas placas dificultando o ajuste e com desgaste com muita frequência.



Aumentar Robustez da pinça de estabilização.

Para aumento da robustez da pinça foi realizado seguintes modificações:

- Aumento da espessura da pinça de 18 mm para 25 mm;
- Inclusão de “mancal” para evitar desgaste constantes nas buchas;
- Inclusão de sobressalto para fixação da barra em caso de quedas indesejadas;



Aumentar Robustez da pinça de estabilização.

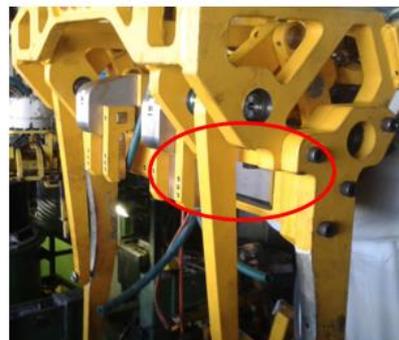
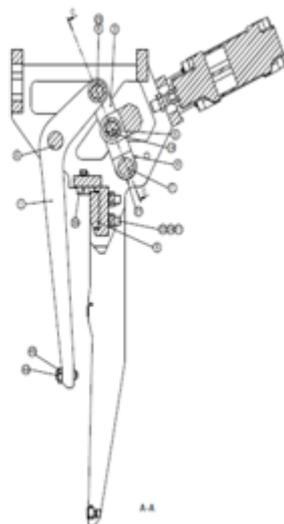
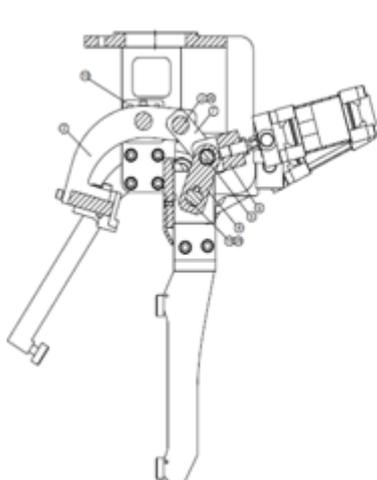
Para aumento da robustez da pinça foi realizado seguintes modificações:

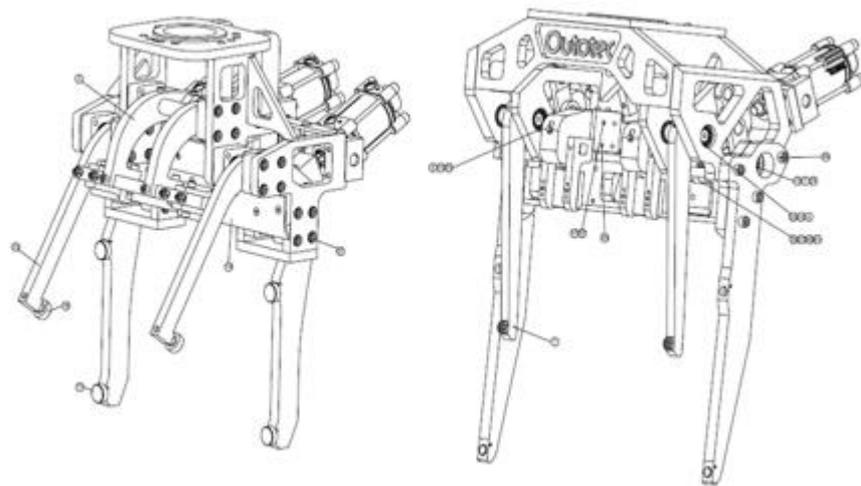
- *Aumento da dimensão da barra fixa;*
- *Entalho no trecho reto para absorver nodulações.*

Melhorar pinça que segura a barra da placa de inox

- *Modificação na angulação do ângulo de fechamento da pinça que segura a barra da placa de inox de 0° para -3°.*

- Redesenhado todos os componentes da ferramenta do robô com dimensões e materiais, afim de gerar detalhamentos dos componentes, para auxiliar as manutenções internas e externas da ferramenta, bem como a aquisição de sobressalentes;

Falta de padronização das placas de encosto das ferramentas**Placas de encosto padronizadas****Buchas utilizadas sem padrão****Buchas padronizadas**



CÓPIA RESTRIITA