

GANHO DE PRODUTIVIDADE E GERAÇÃO DE ENERGIA EM UMA PARADA DE GASOMETRO DE GÁS DE COQUERIA PARA MANUTENÇÃO *

Caio Henrique Vidigal¹
Marcelo Marchesi Martinelli²

Resumo

Gasômetros são equipamentos de grande valia para aumento da eficiência energética e ambiental de empresas siderúrgicas integradas, sendo estes equipamentos responsáveis pelo controle da pressão do gás resultante das transformações dos processos siderúrgicos, controle este realizado através das variações de volume abaixo dos pistões. Quando não há disponibilidade de operação dos gasômetros faz-se necessário o uso de torres de queima para controle das pressões das redes de gases. Em dezembro de dois mil e dezoito fora realizada a troca da selagem do gasômetro de gás de Coqueria da ArcelorMittal Tubarão, que utiliza a tecnologia M.A.N. (Selo a óleo). Utilizando técnicas da metodologia Lean, modificando o *mindset* e alterando antigos paradigmas foi possível realizar a manutenção, de forma eficaz, em 32 dias, 28 a menos que o último trabalho similar realizado e 13 dias a menos que a meta proposta para a parada, aumentando a recuperação de gás de Coqueria, maximizando ganhos de geração elétrica e minimizando a exposição a riscos ambientais associados a parada. As ideias apresentadas neste artigo são de grande valia para a evolução do pensamento crítico e sistêmico sobre a manutenção, não só em gasômetros, mas em todo o contexto de realização de atividades já consolidadas.

Palavras-chave: Gamification; Gasômetro; Lean; M.A.N.

PRODUCTIVITY GAINS AND ENERGY GENERATION DURING A COKE OVEN GAS GASHOLDER MAINTENANCE STOPAGE

Abstract

Gasholders are important equipment to improve the energetic efficiency of integrated steel plants, being these kinds of equipment responsible for the process gases pipelines pressure control by the variation of their volumes. When it is not possible to operate the gasholders it is necessary to burn the gases at flare stacks to guarantee the pressure control. In 2008, December, the ArcelorMittal Tubarão coke oven gas gasholder was overhauled and the seal was changed. This gasholder is a M.A.N type (oil sealed). By using the Lean methodology, changing mindsets and moving some paradigms was possible to execute the overhaul in an efficient way in just 32 days, 28 days less than the last similar event and 13 days less the target that was set for the overhaul, increasing the coke oven gas recovery, maximizing the electric generation and minimizing the exposition to environment risks that were associated with this event. The ideas in this report are valuable to develop the critique and systemic thinking not just about the gasholders but in the whole context of consolidated standard activities.

Keywords: Gamification; Gasholder; Lean; M.A.N.

¹ Engenheiro de Controle e Automação, (UFMG, 2004), Gerente de Área de Manutenção de Distribuição de Energia, Área de Energia, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo – Brasil

² Administrador, (Universidade Vila Velha, 2010), Especialista de Confiabilidade, Área de Energia, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo – Brasil

1 INTRODUÇÃO

Em usinas siderúrgicas integradas os processos de transformação responsáveis pela conversão de minérios e fundentes em aço geram diversos subprodutos, dentre estes estão os gases siderúrgicos, gases estes essenciais para a geração de vapor nas caldeiras e conseqüente geração de energia através do ciclo de Rankine, conforme descrito por Van Wylen¹.

Para que o processo de queima nas caldeiras seja perfeito o controle da pressão das redes de gases é imprescindível, neste contexto de controle de pressão temos inseridos no sistema os gasômetros e as torres de queima que se utilizam de uma fração dos gases para queima e assim então realizar o controle do volume interno das redes garantindo a manutenção da pressão requerida. Gasômetros são elementos de controle da pressão através da variação da área sob seu pistão, sem a necessidade de queima e desperdício dos gases, que então podem ser reaproveitados nos processos de geração de energia e/ou processos térmicos das áreas consumidoras.

Neste trabalho é detalhada uma intervenção realizada no gasômetro de gás de Coqueria, que possuía histórico de realização de 60 dias e fora realizada com 32 através da aplicação dos conceitos da metodologia *Lean*.

No item 2, o trabalho é contextualizado, com a apresentação da ArcelorMittal Tubarão, mais especificamente, da Área de Distribuição de Energia, responsável pela operação dos equipamentos que formam o Sistema de Distribuição de COG. Este sistema é explorado a seguir, trazendo luz ao gasômetro de COG.

No item 3 é apresentado um breve histórico das manutenções executadas neste gasômetro e, em seguida, é introduzida, já no item 4, a grande parada realizada de novembro e dezembro de 2018. Neste item são descritas em detalhes as principais atividades realizadas nesta parada.

Adiante, no item 5, é realizado um balanço geral da parada, com os principais pontos de destaque e os desafios enfrentados. O item 6 fecha o artigo, com a conclusão do trabalho e principais aprendizados a serem compartilhados.

2 CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

2.1 A ARCELORMITTAL TUBARÃO

A ArcelorMittal Tubarão está estrategicamente localizada na região da Grande Vitória, no Espírito Santo, conta com cerca de 6.000 funcionários para uma produção anual em torno de 7,5 milhões de toneladas de aço. Possui uma área total de 13,5 milhões de metros quadrados, sendo 7 milhões de metros quadrados ocupados pela Usina. A Companhia é servida por uma bem aparelhada malha rodo-ferroviária: Estrada de Ferro Vitória-Minas e Ferrovia Centro - Atlântica e Rodovias BR - 101 e BR - 262. Também é ligada a um excelente complexo portuário, contando com o Porto de Praia Mole e com o Terminal de Barcaças Oceânicas. Essa infra-estrutura favorece o recebimento das principais matérias-primas e insumos – principalmente minério de ferro e carvão mineral – e facilita o escoamento dos seus produtos.

Na figura 1 é mostrado o fluxo produtivo simplificado da usina, partindo das matérias-primas, passando pelas diversas etapas do processo e chegando aos produtos finais cuja proporção está definida em 4 milhões de toneladas por ano de bobinas e 3,5 milhões de toneladas por ano de placas.

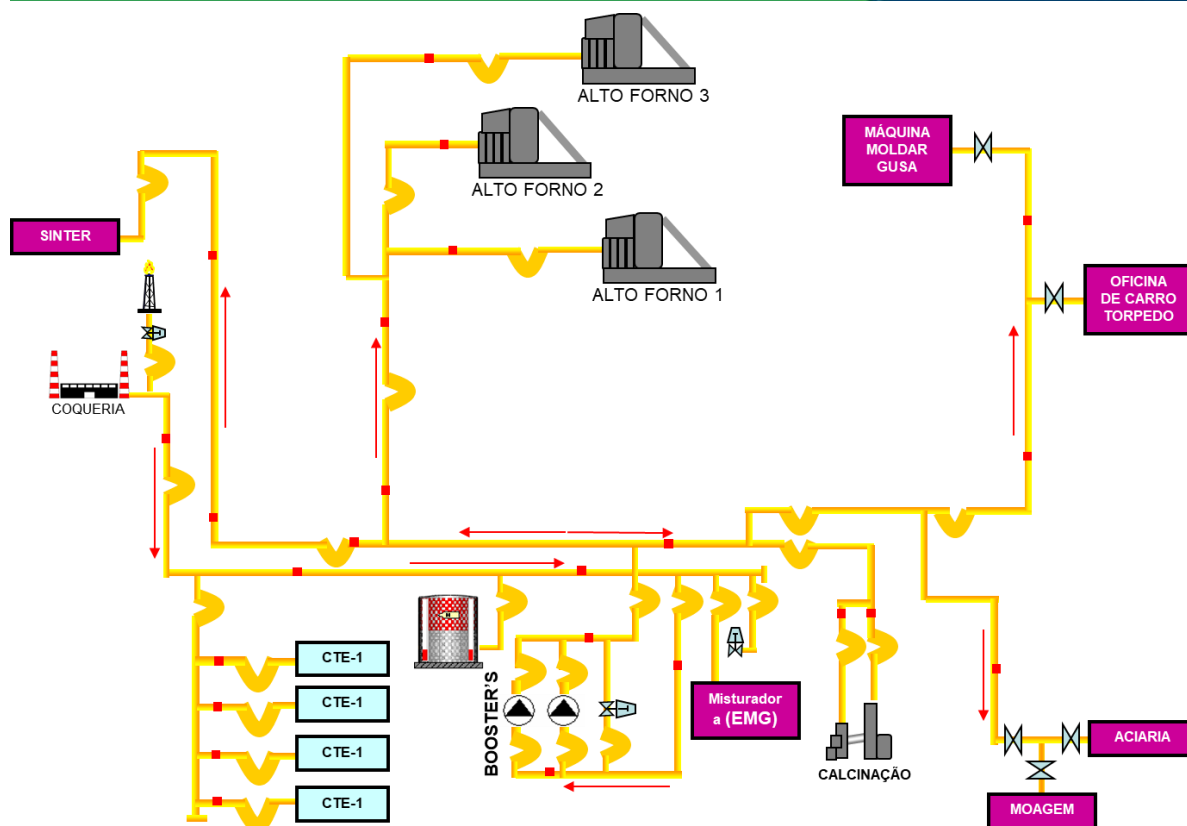


Figura 2. Macro Fluxo do Gás de Coqueria da ArcelorMittal Tubarão

Dentro os equipamentos que compõem o sistema de distribuição e COG destaca-se o gasômetro de COG, do tipo M.A.N., selado à óleo e com 40.000 m³ de capacidade à 500 mmCA.

2.4 O GASÔMETRO DE COG

Como anteriormente citado, o gasômetro de COG da ArcelorMittal Tubarão é do tipo M.A.N., onde a selagem é realizada por óleo, esta tecnologia foi popularizada com o aumento da demanda por equipamentos de elevação da eficiência energética, a fim de aproveitar os gases utilizados em torres para controle de pressão das redes para fins produtivos. Russel Thomas² explica em seu artigo a vantagem mecânica dos gasômetros de teto flutuante, face aos gasômetros helicoidais de selo de água da primeira geração.

Os gasômetros tipo M.A.N. são gasômetros de selagem realizada com alcatrão ou óleo, sendo este último o caso da ArcelorMittal Tubarão. O sistema de selagem é constituído por vinte chapas de desgaste horizontais ligadas ao pistão e pressionadas por molas contra o costado, conforme descrito na figura 3.

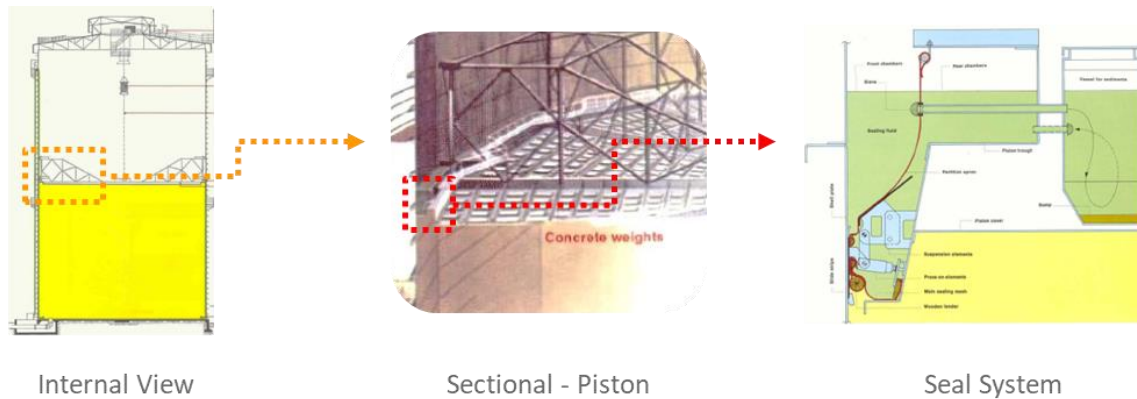


Figura 3. Sistema de selagem do gasômetro tipo M.A.N.

A natureza de operação deste gasômetro consiste na flutuação do pistão a fim de variar o volume interno e assim realizar o controle da pressão das redes de gás de Coqueria em aproximadamente 500 mmCA. Este controle de pressão é dado pela ação da gravidade sobre a massa do conjunto flutuante do pistão sobre a área delimitada pelo costado.

Para não permitir a passagem do gás da parte inferior do pistão para a parte superior está disposto um conjunto de vinte chapas de desgaste distribuídas em todo o perímetro do pistão, estas chapas são interligadas entre si e fixadas ao pistão, sendo pressionadas contra o costado por um conjunto de molas, conforme figura 4. Uma lona realiza o trabalho de restrição ao fluxo a fim de garantir que a pressão do gás na parte inferior do pistão seja suficiente para manter uma coluna de óleo cobrindo a selagem e não permitindo a passagem do gás da parte inferior para a parte superior do pistão.

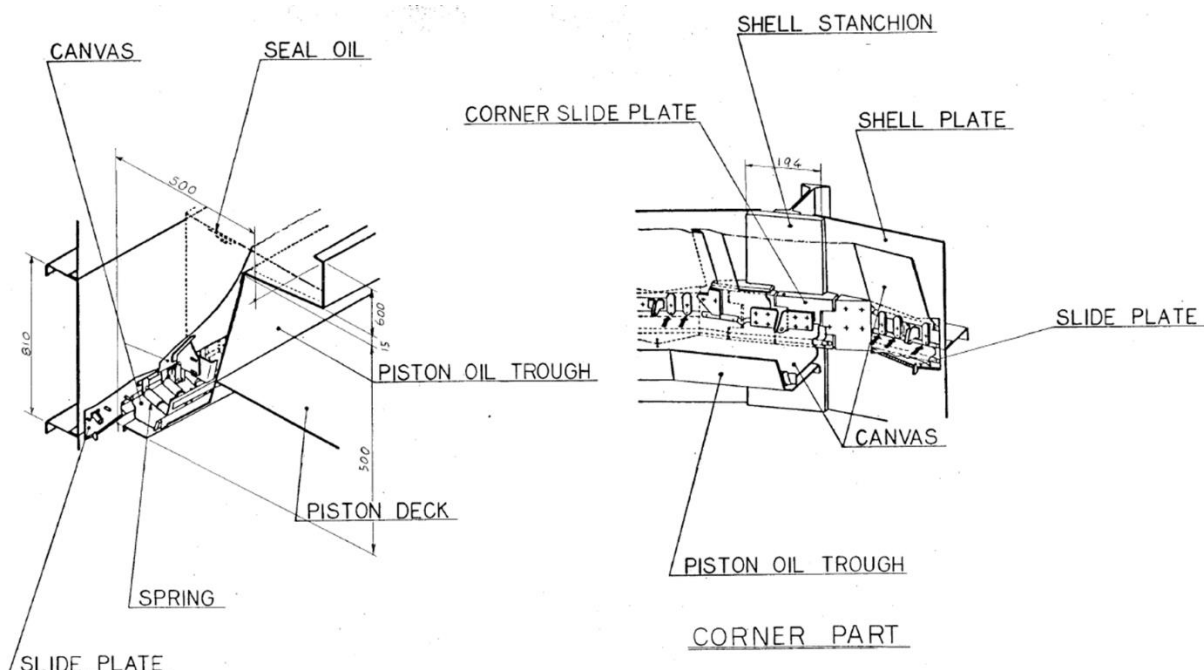


Figura 4. Detalhamento do sistema de selagem do gasômetro tipo M.A.N.

Durante a movimentação do pistão parte do óleo flui para a parte inferior do pistão, sendo coletado em uma calha inferior preenchida com água para evitar o contato do óleo com a chapa de fundo, a fim de manter esse óleo isento de material particulado, e ao atingir nível determinado aciona um sistema de bombeamento que realiza o suprimento para a parte superior da selagem, anteriormente descrita, a fim de manter a coluna de óleo suficientemente resistente a força aplicada pelo gás contido na parte inferior do pistão, conforme figura 5.

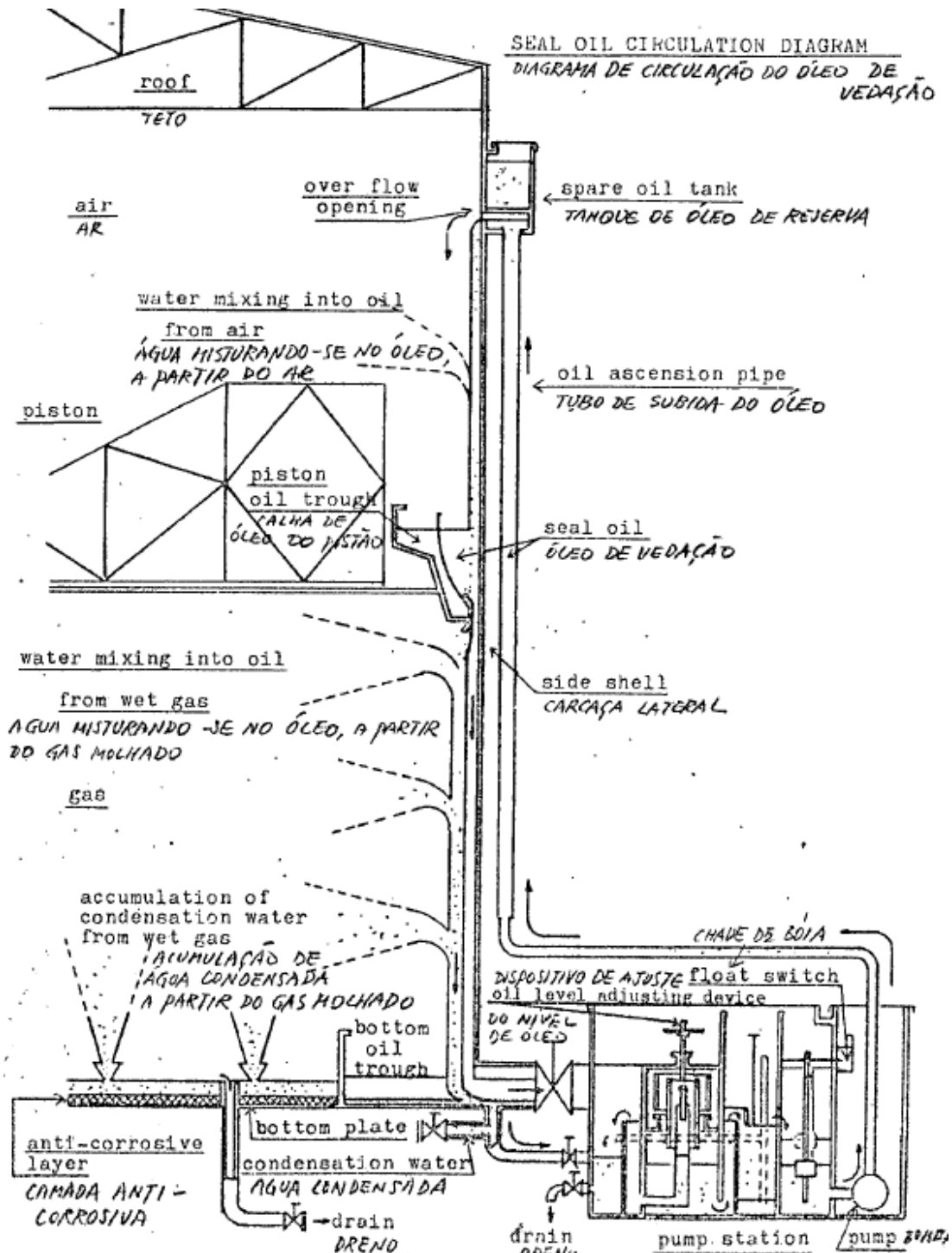


Figura 5. Desenho simplificado de funcionamento do gasômetro tipo M.A.N.

Por este princípio de atuação as chapas, que são os elementos de sustentação da coluna de selagem entre a parte superior e inferior do pistão, acabam por se desgastar pela ação da fricção contra o costado durante a movimentação do pistão. Torna-se então necessária a manutenção periódica a fim de garantir o correto funcionamento do equipamento.

2.5 O HISTÓRICO DE CONFIABILIDADE

2.5.1 PLANOS DE INSPEÇÃO E MANUTEÇÃO

O gasômetro é acompanhado de forma preditiva, através da checagem e observação de indicadores de desempenho da seguinte forma:

- Quinzenalmente é realizada inspeção sob o pistão, com o gasômetro em operação, onde são observados comportamento de deslocamento livre do conjunto e rolos guias do pistão, inspecionadas lonas de selagem e guias tangenciais, verificado nível da coluna de óleo na calha de selagem, além do bombeamento da água acumulada na região da coluna de óleo de selagem;
- Mensalmente, durante a inspeção anteriormente citada, é realizada coleta para análise do óleo de selagem e verificação da inclinação do pistão;
- A cada dois anos é realizada a parada do equipamento, drenagem do óleo e realizada a análise dimensional das chapas de desgaste para avaliação da necessidade de troca, além da inspeção de todos os componentes da selagem que, em operação normal, ficam submergidos no óleo.

2.5.2 HISTÓRICO DE MANUTENÇÕES PROGRAMADAS

Desde o início da operação do gasômetro de gás de Coqueria da ArcelorMittal Tubarão, em Julho de 1983, duas substituições do sistema de selagem haviam sido realizadas de forma programada. Estas manutenções ocorreram em 1995, após doze anos de operação, e em 2008, quando houve a segunda campanha, parada esta que durou sessenta dias.

2.6 A PARADA DE NOVEMBRO E DEZEMBRO DE 2018

A INTRODUÇÃO DO CONCEITO LEAN MANUFACTURING

Segundo João P. Pinto³, presidente da Direção Nacional da Comunidade *lean thinking*, a designação *lean thinking* ou pensamento *lean*, foi utilizado a primeira vez por James P. Womack e Daniel Jones, no livro com o mesmo nome, publicado em 1996. Estes dois autores estiveram durante a década de 80, no Japão, a estudar as formas de gestão e métodos de trabalho das empresas nipônicas, tendo publicado em 1990 o livro —“*The Machine That Changed the World*”, considerada hoje como a principal obra de referência do pensamento *lean*. Esta obra faz referência à máquina que mudou o mundo, o automóvel, e apresenta a indústria que se desenvolveu rapidamente e de forma consistente o uso do *lean thinking* – Toyota Production System (TPS).

Por ter sido inicialmente aplicado na indústria houve a designação inicial de *lean manufacturing*, ou *lean production*. Este, aplicado a indústria é considerado um sistema de gestão que ao envolver ferramentas metodológicas, controle de

* Contribuição técnica ao 40º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 34º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, parte integrante da ABM Week 2019, realizada de 01 a 03 de outubro de 2019, São Paulo, SP, Brasil.

produção e qualidade, elimina desperdícios e cria valor no produto ou serviço, satisfazendo desta forma o cliente e o consumidor final.

João P. Pinto³ define o pensamento *lean*, como "... uma abordagem inovadora às práticas de gestão, orientando a sua ação para a eliminação gradual das fontes de desperdício, através de abordagens e procedimentos simples, procurando a perfeição dos processos, sustentada numa atitude de permanente insatisfação e de melhoria contínua, e fazendo do "tempo" uma arma competitiva".

William Feld⁴ apresenta em sua obra uma forma estruturada de avaliação de cenários, onde auxilia na determinação do estágio atual, como iniciar a implementação da filosofia, a definição do plano máster, a verificação da aderência ao plano e pontos de correção, o desenho do estado futuro desejado, o lançamento do projeto e o acompanhamento dos resultados.

Com base nesta orientação metodológica o trabalho abaixo foi contextualizado, a fim de observar as práticas que outrora foram adotadas e a determinação de valores para melhoria contínua e agregação de valor no desempenho das atividades.

2.6.1 AVALIAÇÃO HISTÓRICA E PLANEJAMENTO

Gasômetros são equipamentos peculiares, com relativa baixa quantidade de unidades face aos demais equipamentos encontrados na siderurgia, além do disposto, há baixa frequência de realização de manutenções gerais com troca de selagem. Todo este contexto faz com que o conhecimento da atividade seja restrito a um pequeno número de profissionais e com os poucos eventos registrados há pouca inovação nos procedimentos e atividades, tornando as realizações quase artesanais.

Visando realizar um evento eficiente e com o menor custo possível, foram buscadas metodologias de estudo e planejamento para ganho de produtividade com garantia de qualidade na parada que seria realizada para substituição da selagem do gasômetro MAN da ArcelorMittal Tubarão.

Masaaki Imai⁵ versa em sua literatura sobre a eficiência do modelo japonês Kaizen na estruturação de modelos de trabalho simplificados, eficazes e de melhoria constante, baseados na metodologia *Lean* e, lançando mão das técnicas apresentadas na literatura citada, foi realizada uma avaliação analítica das atividades necessárias para a completa troca dos elementos de selagem, de forma a estruturar um plano de ação estruturado para cada uma destas atividades e com o foco na melhoria contínua nos gargalos históricos encontrados. A figura 5 apresenta o mapa estratégico para o planejamento e execução das atividades.

Necessities Identification

- Rubbing bars and canvas exchange due end of life;
- Rubbing bars adjustments in our workshop;
- Oil exchange to improve rubbing bars life.

Historical Analysis

- How did was the last overhaul?
- What was our main problems?
- How long does did take each activity at last overhaul?

Bottleneck Evaluations

- *Tabletop Simulation*;
- Critical path identification;
- Debate about time thieves and impacts of them

KAI ZEN
改善
Change for Good

Team Involvement

- Multidisciplinary Brainstorming;
- Base team empowerment;
- People dislocated for special fronts during the overhaul;

TIP

- Practical and simple actions to avoid the bottlenecks;
- Indicação dos owners e prazos para a entrega das iniciativas.

Event Schedule

- Schedule development;
- Strategy adjustment;
- Daily reports and dynamic orientation;
- SAFETY FIRST!

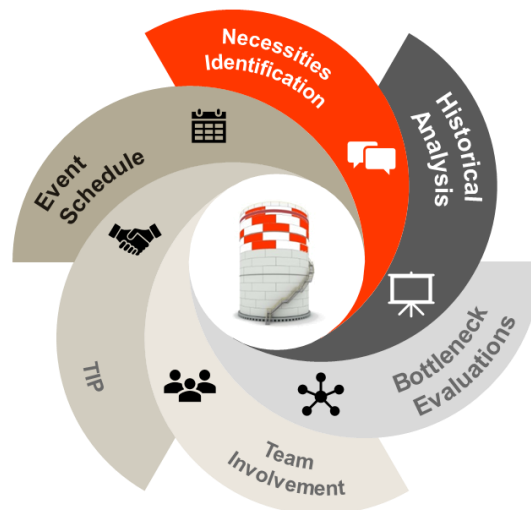


Figura 5. Mapa estratégico da parada.

As atividades foram organizadas em linha do tempo e realizadas simulações de ações das condições as quais seriam encontradas durante a manutenção. Com base nestes dados e com as simulações realizadas fora realizado *brainstorming* envolvendo todos os níveis envolvidos na atividade para geração de ideias que permitissem a realização melhorada do escopo de atividades, conforme descrito a seguir.

2.6.2 AS INOVAÇÕES

Após o levantamento das ideias do *brainstorming* foram destacadas dezenove ações inovadoras divididas entre ações estruturantes e ações de ganho indireto, estas subdivididas entre as quatro fases da manutenção: Pré-montagem, desmontagem da selagem usada, montagem da nova selagem e ajustes finais.

Uma das preocupações durante o planejamento da atividade foi a melhoria das condições de trabalho para os executantes, uma vez que o gasômetro é um ambiente de confinamento, com pouca iluminação e ventilação natural, que sofre aquecimento interno durante dias de sol em função da radiação solar sobre o costado, problemas estes já conhecidos e enfrentados durante oportunidades de parada e que levavam a queda de produtividade e aumento do número de retrabalhos. Para melhorar as condições de trabalho seis ações estruturantes foram adotadas, dentre elas a preparação de uma área de vivência para realização de paradas e hidratação durante a atividade, com tenda de proteção e fornecimento de água refrigerada. No interior do gasômetro foi realizada instalação de nova iluminação auxiliar em LED e também, de forma inovadora, fora instalado equipamento de condicionamento do ar para o interior do equipamento, algo jamais utilizado durante este tipo de evento.

Durante a preparação e pré-montagem, para os mais de 5000 parafusos desmontados e montados durante a manutenção, foi planejada a iniciativa de substituir as convencionais chaves de boca por chaves tipo catraca, conforme figura 6, reduzindo em 30% o tempo de atuação previsto para as atividades envolvidas. Para a preparação das novas chapas e conjuntos de selagem foi montada estrutura com desenho otimizado, visando o desenvolvimento de uma linha de montagem para os novos conjuntos. Durante a pré-montagem da nova selagem é necessária a realização da costura das lonas de selagem, tornando o conjunto uma unidade necessária a manutenção da coluna de óleo. A atividade de costura usualmente era realizada de forma manual, tomando grande tempo de execução, para tal atividade fora adotada máquina de costura de sacaria portátil, e teste de carga das uniões, conforme figura 7, com redução projetada de 50% do tempo para execução da atividade de pré-montagem das lonas. Ainda na fase de pré-montagem foi planejado e testado o uso de água aquecida para a limpeza da borra de alcatrão, presente na região de trabalho da selagem no interior do gasômetro, em substituição a água fria pressurizada, que apresentou baixa eficiência nos eventos anteriores.

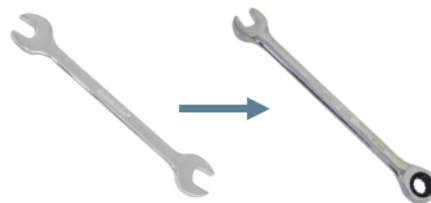


Figura 6. Chave fixa x Chave catraca



Figura 7. Costura manual x Processo Mecanizado.

Para a desmontagem do selo antigo, um dos gargalos identificados foi a limitação de acesso e movimentação a janela de visita, uma abertura de 800 mm por onde todos os componentes entram e saem do gasômetro. Para mitigar esta adversidade foi montada estrutura ampliada em andaime possibilitando um maior número de pessoas trabalhando no local e maior agilidade nas movimentações dos componentes.

Ainda na fase de desmontagem do selo antigo um dispositivo de retirada das chapas, conforme figura 8, foi desenvolvido a fim de reduzir o esforço e o número movimentos e pessoas envolvidas na atividade, uma vez que cada conjunto montado pesa aproximadamente 100 Kg, dificultando o manejo no espaço reduzido

de trabalho. Na mesma linha de atuação, ao invés da desmontagem de todos os componentes no local de montagem foi planejada a desmontagem em conjunto, reduzindo ao máximo o número de ações no local de difícil acesso e acelerando o processo de desmontagem.



Figura 8. Dispositivo para retirada da selagem

De forma prévia à entrada no interior do gasômetro, uma vez que tal contato não é possível antes do início da parada do equipamento, foi adotada uma ação de treinamento das equipes de forma a proporcionar experiência prévia com a situação de trabalho para desmontagem e montagem dos conjuntos. Lançando mão dos conceitos apresentados por Brian Burke⁶ de *gamification*, onde situações de trabalho são simuladas e os participantes de uma determinada tarefa divididos em equipes para estímulo à competição, visando o fomento do estudo para melhor desenvolvimento das ações durante as atividades reais. As equipes que apresentam melhor resultado são recompensadas e há confraternização ao final do jogo. Usando o método descrito foi montado um simulador de selagem, reproduzindo dimensões reais conforme demonstrado na figura 9, e as equipes divididas e identificadas por coletes. Uma vez apresentado o modelo de montagem e os procedimentos para tal as equipes iniciaram competição para identificação daquela equipe que realizaria a atividade da forma correta, segura e no menor tempo. A atividade foi um sucesso de adesão e um efeito colateral foi a utilização do simulador, mesmo durante a parada, para retirada de dúvidas em ambiente mais propício a tal.

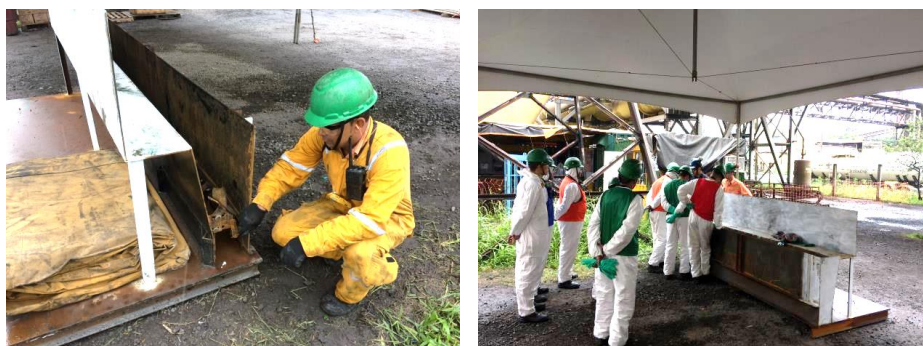


Figura 9. Simulador e realização do game de montagem

Para a descida da selagem ao seu local de montagem, parte integrante da atividade fim, foi desenvolvido dispositivo para substituição a montagem manual, exemplificado na figura 10.



Figura 10. Dispositivo para montagem da nova selagem

Os conjuntos de componentes da selagem, que em atividades anteriores eram conduzidos para o interior de forma individual, foram separados em conjuntos identificados e devidamente separados, conforme figura 11, mitigando os retrabalhos apresentados no passado.



Figura 11. Packs de componentes de montagem

Após todo o trabalho realizado na selagem é necessário garantir a qualidade dos serviços, logo é imperativa a verificação de folgas dos componentes, uma vez que folgas além da tolerância permitem maior passagem do óleo e reduzem a coluna que exerce a selagem do gás da parte inferior do pistão. Para casos de folgas aquém da tolerância há flambagem das chapas durante o passeio do pistão e o mesmo problema de perda da coluna de selagem ocorre. Todo o trabalho de verificação era realizado de forma manual e individual por componente, aumentando o tempo de realização e aumento na probabilidade de erro no método. Foram então desenvolvidos gabaritos de checagem, aumentando a velocidade na execução da atividade e assegurando a qualidade e isonomia entre os processos de verificação.

Por fim, visando garantir a qualidade final dos ajustes e testes, os itens de verificação foram listados e sua verificação definida de forma lógica, com base na sequência de montagem, sendo assim realizada a inspeção final dos componentes para a posterior liberação do equipamento para a operação.

2.6.3 RESULTADOS OBTIDOS

Após trinta e dois dias ininterruptos de parada do equipamento para manutenção foram iniciados os testes de movimentação e três dias mais tarde, com trinta e cinco dias totais de manutenção o equipamento foi liberado para operação normal, com todos os indicadores de performance demonstrando a qualidade do serviço

realizado. Foram vinte e cinco dias a menos que a última manutenção de mesmo escopo, dez dias a menos que a meta proposta durante a fase de planejamento e elaboração do cronograma da atividade.

Vale ressaltar que toda a atividade foi realizada com o mesmo dimensionamento de mão de obra, ou seja, sem que houvesse acréscimo do efetivo aplicado para redução do tempo de parada, denotando que todo o ganho apresentado decorreu da mudança de metodologia e aplicação das ferramentas preconizadas por esta.

3 CONCLUSÃO

O resultado do evento, com economia além da planejada no tempo de realização da atividade, e não antes alcançado em manutenções realizadas em equipamentos similares, comprovou que o investimento em planejamento e inovação foi fator determinante para o sucesso.

O emprego desta metodologia partiu da crença de que, mesmo com práticas consolidadas como o *Lean Manufacturing*, o capital humano é a chave de toda inovação e melhoria de resultados. Conceder autonomia e empoderar os envolvidos é imprescindível e buscar novas técnicas para que se atinja esse objetivo é um dever constante dos gestores da área de energia.

Mais relevante que o resultado técnico foi o não detrimento da segurança da atividade, onde não foi registrado qualquer ocorrência, a despeito das inúmeras atividades paralelas e riscos associados a natureza do trabalho.

Em suma, para seguir competitivo em um mercado globalizado, principalmente em indústrias de beneficiamento primário, é necessário buscar a melhoria contínua de forma incessante, com metodologia e técnica para garantir bons resultados e o bom desempenho do negócio. O sucesso deste evento foi baseado nestas premissas aliando o resultado técnico ao ganho financeiro propiciado pela maior produtividade do trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 Van Wylen, Gordon John. Fundamentos da termodinâmica clássica. Edgar Blucher (GO): INL, 1973.
- 2 Russel, Thomas. Gasholders and Their Tanks. 2010 [acesso em 05 Maio. 2019]; Disponível em: <http://www.eugris.info/newsdownloads/Gasholders%20and%20their%20tanks.pdf>
- 3 Pinto, João P. — Lean thinking: Introdução ao pensamento magroll. Acedido em <http://molar.crb.ucp.pt/> a 5 de Janeiro de 2010;
- 4 Feld, William M. Lean Manufacturing: Tools, Techniques and How to Use Them. IL; APICS; 2001.
- 5 Imai, Masaaki. Kaizen, the key to Japan's competitive sucess. NY; McGraw-Hill Education; 1986.
- 6 Burke, Brian. G-A-M-I-F-Y How gamification motivates people to do extraordinary thing. NY; Biblimotion; 2014.