

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNA
CURSO DE ENGENHARIA DE MECÂNICA

BRUNO SILVA DE LIMA

JOSÉ FRANCISCO MONTALVÃO NETO

UGUIS MEIRE DA SILVA FILHO

VIABILIDADE DA TROCA DE COMPONENTE DE BOMBA CENTRÍFUGA
UTILIZADA NA PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES VISANDO REDUÇÃO DE
CUSTOS OPERACIONAIS

JATAÍ - GOIÁS

2022

BRUNO SILVA DE LIMA

JOSÉ FRANCISCO MONTALVÃO NETO

UGUIS MEIRE DA SILVA FILHO

VIABILIDADE DA TROCA DE COMPONENTE DE BOMBA CENTRÍFUGA
UTILIZADA NA PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES VISANDO REDUÇÃO DE
CUSTOS OPERACIONAIS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Centro Universitário Una
como requisito parcial para graduação no
curso Engenharia Mecânica.

Orientador(a): WENDERSON DE
OLIVEIRA SOUZA

JATAÍ

2022

Viabilidade da troca de componente de bomba centrífuga utilizada na produção de fertilizantes visando redução de custos operacionais

Bruno Silva de Lima¹, José Francisco Montalvão Neto¹, Uguis Meire da Silva Filho¹,
brunolimansnoway017@gmail.com; josenetojf@hotmail.com; uguisfilho@hotmail.com

Professor orientador: Wenderson de Oliveira Souza

Coordenação de curso de Engenharia Mecânica

Resumo

A manutenção no contexto industrial tem se tornado grande aliada para a melhoria dos processos, maior confiabilidade, além de proporcionar, maior qualidade de produtos e serviços. Muitas vezes uma simples troca de um componente de um equipamento pode trazer ganhos diversos no setor de produção, por isso, profissionais da área da engenharia mecânica têm buscado formas de agregar maior valor a suas empresas criando estratégias e ações concretas para que a disponibilidade dos equipamentos seja aprimorada. O objetivo do estudo foi demonstrar a viabilidade de troca de componente (sistema de selagem) de uma bomba centrífuga apontando quais foram os resultados encontrados no âmbito operacional. No estudo foi possível analisar, na rotina da oficina de mecânica um estudo feito pela equipe de manutenção, comparando dois sistemas de selagem de refrigeração de bomba centrífuga: gaxeta e selo mecânico. O equipamento do estudo foi uma bomba centrífuga horizontal de rotor fechado modelo LC100/300 A3 (BA-1519). Os resultados mostraram que houve redução de custos operacionais, com a substituição da gaxeta pelo selo mecânico, sendo estes: redução de perda mecânica, consumo de cal/calçário na Estação de Tratamento de Efluentes, perda de produto, não diluição do ácido fosfórico (perda de qualidade), eliminação de risco de contaminação do meio externo e redução de paradas para manutenção. Pode-se considerar que mesmo o selo mecânico tendo um custo inicial maior do que a gaxeta, as vantagens destacadas superam este valor da aquisição, fator que aponta a viabilidade da substituição.

Palavras-chave: Fluido. Perdas. Vedação. Manutenção.

INTRODUÇÃO

A manutenção no ambiente empresarial tem se tornado cada vez mais fundamental para que os processos desenvolvidos com maior excelência. Visto que, no atual cenário de crescimento das empresas e das unidades de produção, é cada vez mais frequente a necessidade de aumento da produtividade e lucratividade, que será imprescindível para a permanência das empresas no competitivo mercado. Baseado nesse novo ambiente de competitividade, introduzido pela globalização e crescimento da economia, as empresas precisam trabalhar no contínuo aperfeiçoamento de seus processos. Manutenção pode ser vista como ação de controle e monitoramento do veículo, equipamento ou qualquer outro ponto de manutenção, levando a operar sempre em condições nas quais saiu da fábrica (GUELBERT, 2004).

É necessário que cada setor da empresa esteja preparado para organizar, prever, planejar, estabelecer prioridades, alocar recursos, medir os custos e contabilizar os lucros. Neste caso, planejar com visão total é uma tarefa da qual depende da produtividade da

empresa como um todo e a manutenção é uma das responsáveis na obtenção desse objetivo (COSTA, 2015). Neste caso, a manutenção tem como missão garantir a disponibilidade da função dos equipamentos, garantindo maior vida útil, podendo estes atenderem a um processo de produção e serviço com maior confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados (KARDEC; NASCIF, 2013).

A manutenção é peça primordial, para o sucesso de uma linha de produção, bem como para o direcionamento de todas as ações do processo produtivo. Geralmente, ela é entendida como sendo ações que visam recuperar, monitorar e gerenciar um equipamento a fim de mantê-lo em funcionamento (RODRIGUES, 2014). A manutenção tem como objetivo maior “manter e melhorar a confiabilidade e regularidade de operação do sistema produtivo” (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

As organizações, de modo geral, independente de seu ramo de atuação, têm buscado permanecer ativa no mercado. Para isso, é fundamental manter o foco nas necessidades dos clientes, tendo a manutenção como uma alternativa de ação que lhe garanta condições para atender a demanda e satisfazer os clientes (KARDEC; NASCIF, 2013).

Na engenharia a manutenção significa “mudança cultural para a maioria das empresas” (MALPAGA, 2009, p.7); “mudar as estratégias de trabalho” (COSTA JÚNIOR, 2015, p.131); inserir o parâmetro tempo nas definições de ‘complexidade’ e de ‘estabilidade’ (ALMEIDA, 2017). Deve-se reconhecer que em qualquer empresa, a manutenção é importante para dar maior confiabilidade aos equipamentos, melhorar a qualidade e até para diminuir desperdícios (MALPAGA, 2009).

Desde a Revolução Industrial, mesmo ocorrendo grandes progressos, a manutenção ainda sofre diversos desafios. O principal deles é o avanço tecnológico, que gera entre outros fatores desafiadores: complexidade, custo e concorrência (BARAN, 2011). Portanto, realizar a manutenção das máquinas na indústria é uma ação rotineira, procurando atender a esta finalidade (missão) destacada por Kardec e Nascif (2013). No entanto, tem-se como problema da pesquisa: Como otimizar o processo de manutenção por meio de ações que possam reduzir custos operacionais?

Por este motivo, uma indústria de fertilizantes localizada no Triângulo Mineiro entendeu como prioridade realizar uma troca de um dos componentes de uma bomba centrífuga, ou seja, substituir a gaxeta por um selo mecânico. As gaxetas são cordões com formato quadrangular responsável pela vedação do sistema e tem como função realizar a vedação do conjunto rotativo da bomba centrífuga horizontal, portanto, o impede o escape do fluido bombeado para não vaze para o meio externo, requer uma refrigeração e uma selagem (SILVA, 2019). Enquanto o selo mecânico é um dispositivo mecânico de forma cilíndrica, de alta tecnologia e alto desempenho, responsável por eliminar e prevenir vazamentos de fluídos, líquidos ou gases sob pressão na caixa de selagem ou câmara do selo, de bombas centrífugas, bombas hidráulicas, reatores, onde o eixo rotativo atravessa seu corpo (OLIVEIRA, 2014).

Diante desta possibilidade, a equipe de manutenção fez um estudo sobre a selagem da bomba centrífuga com o selo mecânico (disponibilizado no mercado), e constatou que a selagem resultaria na redução total do consumo de água, necessária para a refrigeração da bomba no caso da gaxeta. Desta forma, os executivos e tomadores de decisão da empresa de fertilizantes aprovaram o projeto de troca que foi posto em execução. Até o momento, a decisão era eliminar o consumo de água, no entanto, ao longo do experimento outros fatores foram sendo analisados e, por este motivo, foi necessário alinhar os resultados e apresentar as vantagens, para que fosse verificada a viabilidade da troca.

Sendo assim, foi planejada, pelo setor de manutenção, a troca do componente do sistema de selagem da bomba centrífuga horizontal de rotor fechado modelo LC100/300 A3 (BA-1519). Tendo o presente estudo o objetivo demonstrar a viabilidade de troca de componente (sistema de selagem) de uma bomba centrífuga apontando quais foram os resultados encontrados no âmbito operacional. E assim, conseguir responder aos objetivos específicos: relacionar pelos resultados encontrados a viabilidade de fazer o mesmo em toda a planta industrial, ou seja, nas demais bombas do processo produtivo da empresa de fertilizantes; destacar as vantagens e desvantagens do sistema selagem com selo mecânico, principalmente, avaliando a redução de custos operacionais relacionados ao consumo de água e de cal, a perda mecânica / manutenção e a qualidade do produto final.

2. MINERAÇÃO E A FABRICAÇÃO DE FERTILIZANTES COM ÊNFASE NOS SISTEMAS DE SELAGEM BOMBA CENTRÍFUGA

A mineração pode ser vista como uma das bases da economia no Brasil, principalmente, pelo valor agregado ao desenvolvimento socioeconômico, visto que os minérios podem ser encontrados em quase todos os produtos consumidos, portanto, trata-se de uma atividade muito importante para o país. Porém, mesmo que sendo indispensável gera impactos negativos ao meio ambiente e por isso, há uma preocupação com os processos realizados na fabricação de qualquer tipo de minério (VILLAS BÔAS, 2011).

De acordo com Curi (2014) a mineração envolve diversas atividades, sendo as principais, pesquisa, extração, transporte, processamento, transformação mineral e comercialização do produto final. No entanto, o processo produtivo em si, passa por 4 etapas: 1. Prospecção (fase em que são realizados estudos preliminares, reconhecimento geológico); 2. Pesquisa Mineral (fase da exploração, delineamento e avaliação do minério); 3. Lavra (fase de execução do projeto de mineração e exploração do minério); e 4. Descomissionamento de mina (fase em que é realizada a desativação e fechamento da mina).

Rocha et al. (2018) reforçam a importância do processo de mineração para a economia do país e destaca os processos de mineração em uma sequência de etapas, como referido acima. No entanto, colocam cada uma dessas em fases distintas: Pré-Mineração (Prospecção e Exploração), Mineração (Desenvolvimento e Lavra), e Pós-Mineração (Recuperação e Reabilitação da Área). Dentre estas fases, os autores relatam que a lavra compreende é que melhor aplica a mineração, pois se trata da retirada dos recursos naturais através de um conjunto de operações coordenadas que objetiva o aproveitamento industrial das jazidas para fins de beneficiamento, transformação e utilização, utilizando técnicas específicas denominadas métodos de lavra.

Pode-se destacar, portanto, que a mineração é a extração, elaboração e beneficiamento de minerais, que são encontrados em seu estado natural para serem beneficiados e comercializados (CURI, 2014). A mineração é a base para o processo de produção de fertilizantes, principalmente, pelo fato de ser o primeiro elo da cadeia produtiva, mais propriamente, trata-se da indústria extrativa mineral. Esta fornece as matérias-primas básicas (rocha fosfática, rocha potássica, enxofre e gás natural ou nafta) para a produção de fertilizantes (COSTA; OLIVEIRA E SILVA, 2012).

As indústrias de fertilizantes no Brasil têm se desenvolvido de forma cada vez mais crescente. As primeiras fábricas surgiram em 1940, sendo a produção específica à mistura de NPK (fertilizante que contém nitrogênio, fósforo e potássio), com base em fertilizantes simples importados. O avanço das empresas produtoras de fertilizantes no

Brasil tem sido algo impressionante. Inclusive, em muitos casos, a concretização da fusão e aquisição tem sido uma alternativa de crescimento para empresas se fortalecerem ainda mais neste mercado de expansão (WESZ JÚNIOR, 2011). Por isso é fundamental que seu processo produtivo esteja sendo conduzido de forma planejada e que as máquinas operem com eficiência para que o cliente possa ser atendido.

Dentre os diversos tipos de fertilizantes produzidos nas empresas, de um modo geral, há os relacionados ao setor agrícola, mais propriamente os defensivos agrícolas (herbicidas, inseticidas, fungicidas, entre outros). Neste, os processos produtivos compreendem em: formulação e envase (CUNHA, 2017). Estes dois processos e/ou operações são muito importantes no ambiente industrial, pois há o risco de perda de produto, contaminação, enfim, deve-se ter expressiva atenção, devendo ocorrer em áreas controladas, sendo realizados em condições de Boas Práticas de Fabricação – BPF e tendo um monitoramento de todo o processo produtivo (VITOLLO et al., 2015).

A forma com que os nutrientes são misturados para a composição de uma determinada formulação de fertilizante, existem duas misturas: mistura de grânulos e de complexo granulado. A primeira é quando todos os nutrientes estão presentes na formulação na forma de grânulos separados. No complexo granulado, cada grão composto contém um percentual de nutrientes determinado na formulação (DRESCHER, 2012).

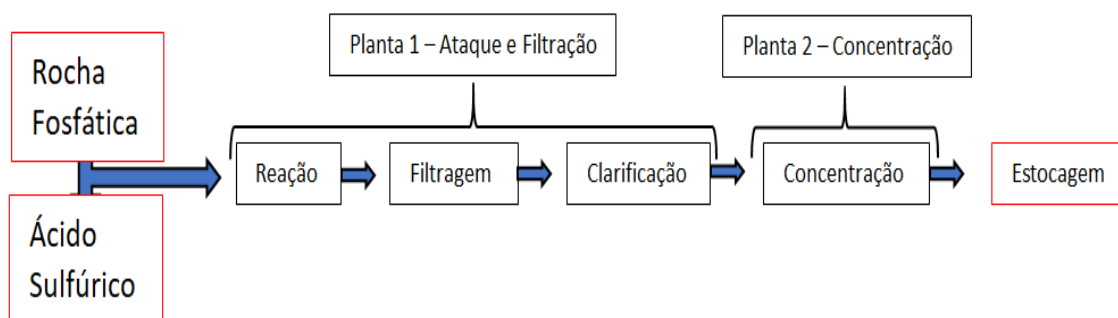
Neste contexto, em toda a indústria que trabalha com formulação e envase é necessário que o produto, que tenha suas partículas bem diluídas para que seja devidamente envasado (SILVA, 2000). Se o material for muito denso o equipamento não conseguirá envasar. Daí entra o papel fundamental do processo de moagem, para essa diminuição de partículas (BRUNATTO, 2017).

De acordo com Malavolta et al. (2002 apud CELLA; ROSSI, 2010) os principais fertilizantes utilizados na agricultura, para adequação do solo, conforme as necessidades nutricionais que as plantas necessitam são: nitrogênio (matéria-prima petróleo e gás natural), fósforo (enxofre e rocha fosfática) e potássio (rocha potássica). Além disso, no processo produtivo de fertilizantes, considerando seus recursos naturais, materiais primas básicas, produtos intermediários, fertilizantes básicos e finais, encontra-se um processo no qual, se pode destacar uma interação das três necessidades básicas do solo: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).

A indústria de fertilizantes do estudo de caso segue este esquema simplificado (Figura 1), sendo a produção do ácido fosfórico (H_3PO_4), destaque da pesquisa realizada. Essa ocorre a partir de concentrados apatíticos, seguindo dois caminhos: o hidrometalúrgico (predomínio do ataque sulfúrico) e térmico (concentrado reduzido a fósforo elementar e oxidado e hidratado, resultando no ácido fosfórico).

De acordo com Rodrigues (2012) em diversos processos industriais, os sistemas de bombeamento são parte importante para garantir o fluxo necessário à manutenção da produção. Como ocorre no processo da produção de fertilizantes, tendo a bomba centrífuga colaboração importante neste, pois é responsável pela concretização da mistura da Rocha Fosfática e o Ácido Sulfúrico. Na Figura 1 há um fluxograma dos dois caminhos, que na indústria, são referidos como duas plantas.

Figura 1: Fluxograma da planta industrial da produção do ácido fosfórico



Fonte: Elaborado pelos Autores (2022).

De acordo com o Fluxograma elaborado na Planta 1, ocorre o Hidrometalúrgico (ataque de filtração) onde estão envolvidos os seguintes processos: 1. Reação, ou seja, a mistura da Rocha fosfática e ácido sulfúrico; 2. Filtragem, onde a reação formada pelo reator, processo anterior, é filtrada e dela é extraído o ácido fosfórico diluído em três concentrações diferentes. Nesta etapa o líquido (ácido) é separado (extraído) da polpa; 3. Sistema de Gás: são os equipamentos e circuito de dutos que fazem a condução dos gases gerados no reator, oriundo da mistura lama com ácido sulfúrico, para as torres que vão fazer a lavagem e posteriormente liberá-los em condições (purificados) para o meio ambiente; 4. Clarificação: localizado no setor da tancagem, são os decantadores (em forma de tanque) responsáveis pelo processo de remover o excesso de sólido do ácido derivado do processo de filtragem. 5. Tancagem (estocagem): região onde estão localizados os tanques que recebem o ácido produzido, seja ele concentração ou diluído, ou seja, em todas as concentrações.

De acordo com Loureiro, Monte e Nascimento (2015) na etapa da clarificação ocorre a decantação de sólidos, que não foram separados na etapa de filtração ou que ainda estejam dissolvidos, possibilitando sua remoção. O ácido fosfórico clarificado (teor de 27 a 30% em P_2O_5) é então enviado para estocagem, ou seja, depois de passar no evaporador (já então com concentração de 52% em P_2O_5) e isento de impurezas, é enviado para estocagem e, em seguida, para a etapa de concentração.

Na planta 2, tem-se o processo térmico que é o Fosfórico concentrado, sendo realizadas as seguintes etapas: Concentração: realiza-se o aquecimento do ácido recebido da planta de ataque e filtração. O intuito do aquecimento é eliminar excesso de água contido no ácido para desta forma concentrá-lo; 2. Lavagem de gás: realiza a lavagem dos gases gerados pelo aquecer do ácido, deste processo deriva-se o ácido fluossilícico (flúor).

Na indústria do estudo de caso este é expedido somente para clientes externos sendo muito utilizado para travamento de água (CODAU, SABESP, etc.). Analisando todo o processo, as bombas centrífugas estão na distribuídas por todas as partes dos setores de produção, em sua grande maioria na tancagem, mas também, estão muito presentes nas etapas de ataque e filtragem.

No item a seguir, destacam-se o equipamento de análise deste estudo (bomba centrífuga) e o sistema de selagem, o qual se apresenta um projeto de substituição das gaxetas por selo mecânico, estes dois também serão apresentados. Souza (2009) chama a atenção para estratégias voltadas a manutenção, na área de mecânica, principalmente, da importância de criar estratégias que possam melhorar a operacionalidade dos equipamentos e máquinas. Dispositivos como a troca de selagem de uma bomba centrífuga configura-se uma estratégia positiva, mostrando-se não só pela questão da

manutenção em si, mas também, pela implantação de uma ação, que precisa ser avaliada pelo investimento e até mesmo a disponibilidade da empresa interessada no desenvolvimento de um projeto de melhoria.

2.1 Sistema de selagem bomba centrífuga: gaxeta e selo mecânico

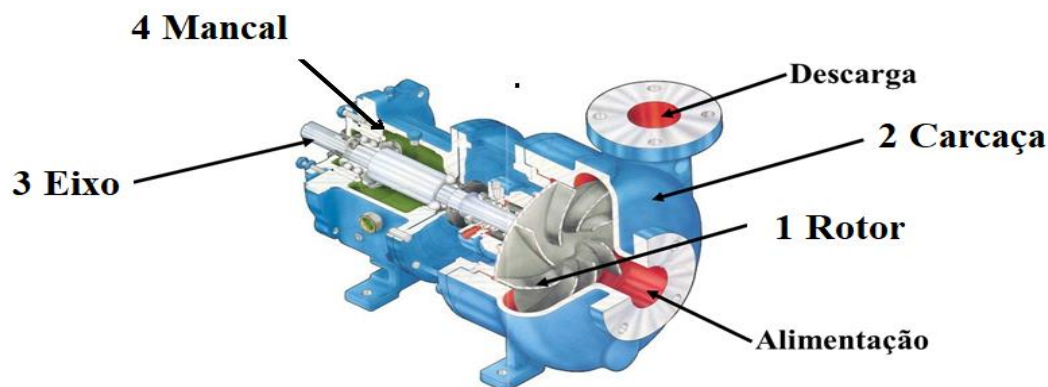
As bombas são equipamentos que transformam a energia mecânica em cinética e de pressão, com o objetivo de escoar o fluido da tubulação a uma dada velocidade e pressão, sendo consideradas como equipamentos de alta flexibilidade operacional, portanto, empregadas em larga escala (ANTUNES JÚNIOR, 2012). Para Souza (2009) ao garantir a operacionalidade de uma bomba é fundamental que a empresa procure realizar de forma eficiente sua manutenção, privilegiando a manutenção preventiva (prevenindo falhas) e reduzindo as manutenções corretivas.

As bombas elas podem ser classificadas em: centrífugas ou de deslocamentos positivo (ANTUNES JÚNIOR, 2012). As bombas centrífugas são equipamentos que demandam a aplicação de um sistema de selagem e refrigeração, que é constantemente abastecido com água, esse sistema permite que o bombeamento, ou seja, a transferência do fluido (ácido fosfórico) do processo seja enviado do ponto de origem até seu destino final, sem causar danos prematuros aos componentes mecânicos da bomba (BRAGA, 2015; SILVA, 2019). De modo específico as bombas centrífugas são uma turbo-máquina (dinâmicas ou turbobombas), cuja principal função é a realização do bombeamento de líquidos em geral (SILVA et al., 2015).

No contexto de sua operacionalidade, segundo Rigoni (2018), considerando a análise por árvore de falha (em inglês *Fault Tree Analysis* - FTA), que identifica falhas no decorrer de seu funcionamento, sendo o sistema de selagem um dos itens que podem resultar em falhas e incorrer em parada da bomba centrífuga. Neste aspecto, segundo Silva (2019) para a manutenção correta da bomba, visando prolongar sua vida útil, é fundamental ter um planejamento de manutenção para evitar desgastes, quebras, paradas indesejadas, sendo indispensável verificar o bom funcionamento dos seus componentes.

A bomba centrífuga além do local de alimentação e de descarga do fluido, conta com os seguintes componentes, segundo Antunes Júnior (2012): 1. Rotor (responsável por imprimir movimento ao fluido, gerando uma força centrífuga (energia cinética) que através da forma construtiva da bomba (carcaça) transforma essa energia de cinética para potencial aplicando assim energia necessária para o fluido se deslocar com pressão a uma determinada altura. 2. Carcaça: além da geração da energia potencial, a carcaça tem função de condução do fluido até o bocal. As carcaças possuem os bocais de sucção e descarga. 3. Eixos: componente indispensável para as bombas, cuja função é transmitir movimento de rotação advindo da máquina geradora de movimento para o rotor. O eixo pode ser uma peça única (bombas horizontais), como é o estudo de caso, ou em várias partes (bombas verticais). 4. Mancais: suportam os eixos, que são responsáveis por manter o alinhamento do eixo. Eles podem ser de deslizamento e de rolamento, conforme o tipo de atrito predominante (Figura 2).

Figura 2: Principais componentes da bomba centrífuga

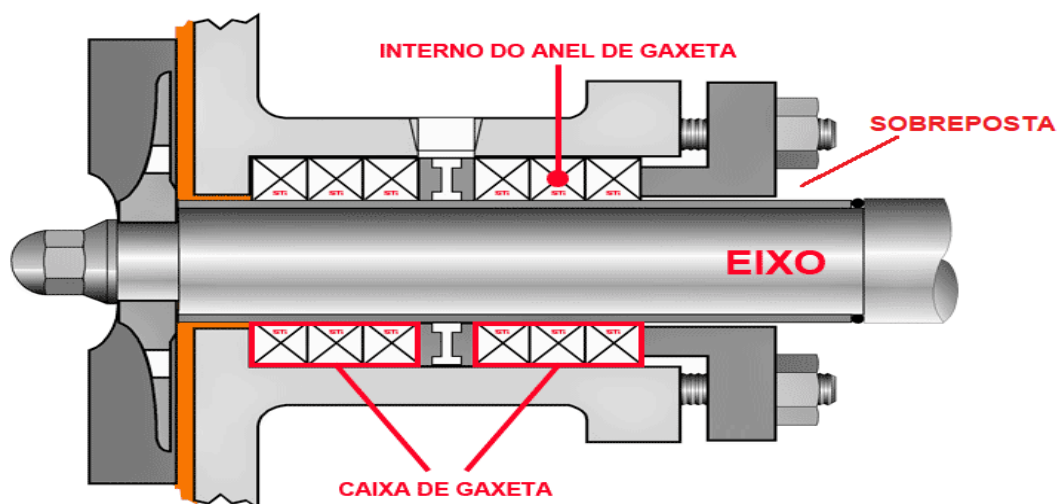


Fonte: <http://armariodaeq.blogspot.com/2014>.

As bombas no geral possuem uma parte movei (eixo) e uma parte fixa (carcaça). Para que o eixo gire para gerar energia para a movimentação do fluido é necessário que exista folgas entre eixo e carcaça. O problema é que para haver essa folga, criam-se espaços que ocorrem vazamentos de fluidos, sendo necessária inserção de sistemas de selagem (selo). Que são sistemas com função de minimizar ou impedir esses vazamentos (ANTUNES JÚNIOR, 2012).

Há dois tipos de sistemas de selagem, o de Gaxeta e o de Selo mecânico. Na selagem com a gaxeta (Figura 3) a caixa de gaxeta apresenta um cilindro oco onde ficam alojados vários anéis de gaxeta, pressionados por uma peça chamada sobreposta. A função dessa peça é manter a gaxeta alojada entre a caixa e o eixo, sob pressão conveniente para o trabalho. Este sistema minimiza os vazamentos, mas são necessários ajustes constantes da caixa, porém não garante estanqueidade total. (SOUZA, 2009).

Figura 3: Sistema selagem com gaxeta



Fonte: Adaptado pelos autores de <https://www.sotequi.com.br/gaxetas.php>.

A selagem com gaxeta garante boa eficiência da bomba centrífuga, no entanto, impõem ao sistema de bombeamento, perdas do produto recalado (SOUZA, 2009). Em casos de produtos que causam risco ao meio externo e a perda de produto gera custos altos, é necessária a implantação do selo mecânico, por garantir vazamento zero ou quase zero, dependendo do fluido (ANTUNES JÚNIOR, 2012).

No caso da operacionalidade da bomba centrífuga o fluxo de fluido não deve ser totalmente vedado, pois há necessidade de passagem mínima de fluido com a finalidade de auxiliar a lubrificação entre o eixo rotativo e a própria gaxeta (restringimento), aplicado quando se trabalha com bomba centrífuga de alta velocidade. Nesse tipo de bomba, o calor gerado pelo atrito entre a gaxeta e o eixo rotativo é muito elevado e por este motivo, o mecanismo exige uma saída controlada de fluido para minimizar o possível desgaste (SOUZA, 2009).

Em operação as gaxetas, segundo Braga (2015), na bomba centrífuga estão alojadas entre um eixo e um mancal e a sobreposta onde ocorrem os apertos e ajustes para a regulação das mesmas. Segundo Antunes Júnior (2012) na caixa da gaxeta são necessários constantes ajustes, visto que, com o objetivo de evitar que ocorrem vazamentos de fluidos em maior quantidade. Os vazamentos com a gaxeta são inevitáveis, mas os ajustes podem amenizar a ocorrência, ou seja, sem eles podem ser ainda maior a quantidade de perda de fluidos.

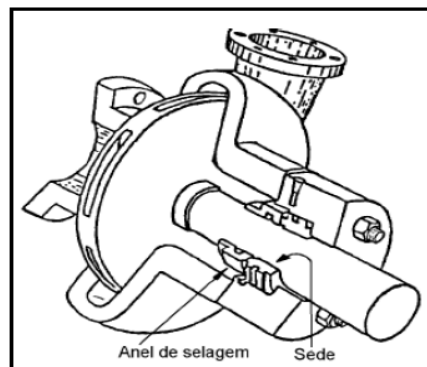
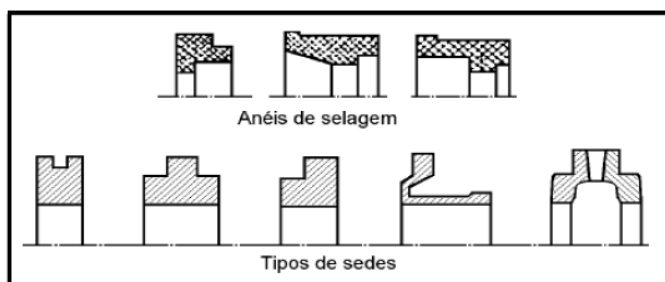
Por este motivo, torna-se fundamental que a indústria de produção de fertilizantes, que faz uso deste tipo de equipamento, se preocupe em desenvolver estratégias de manutenção que possam reduzir essa perda de fluidos. De acordo com Kardec e Nascif (2013) a manutenção tem como caráter estratégico direcionar-se a busca por resultados melhores da própria produção, tornando-se uma peça eficaz na administração, não bastando reparar o equipamento, mas manter o funcionamento deste para as operações, reduzindo prováveis paradas.

No geral, as empresas passaram a se preocupar com as falhas, trabalhando tanto com manutenção interna quanto externa. Ou seja, muitas falhas podem ser evitadas com manutenções preventivas, por exemplo, que podem ocorrer no dia a dia da empresa. No entanto, outras devem ser direcionadas a empresas (terceiras) para que possa realizar a manutenção. Neste aspecto, a manutenção tem sido ponto fundamental, para melhoria das ações (técnicas e administrativas) capazes de manter uma empresa operando no mercado de atuação. Muitos processos são melhorados nas empresas, graças ao setor de manutenção (COSTA JÚNIOR, 2015).

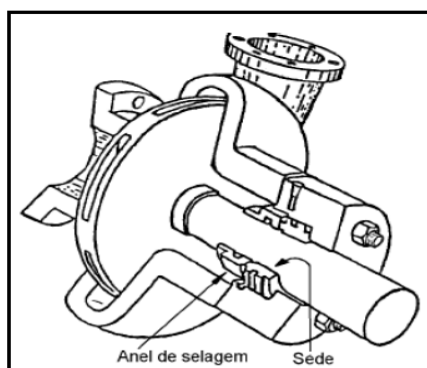
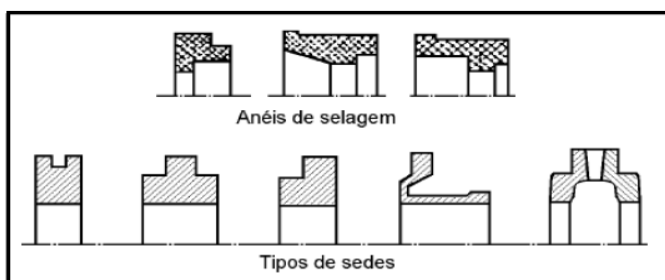
O segundo sistema de selagem, selo mecânico, impede vazamento de fluido da bomba centrífuga, mas caso haja desgastes de seus componentes pode haver vazamento de um pouco de fluido (BRAGA, 2015). Segundo Souza (2009) o sistema de selagem com Selo Mecânico pode ser compreendido por dois movimentos: vedação primária e vedação secundária. Na primeira, feita num plano perpendicular ao eixo por meio do contato deslizante entre as faces altamente polidas de duas peças: sede (estacionária e fica conectada numa parte sobreposta) e anel de selagem (fixado ao eixo e gira com este componente). Para que as faces do anel de selagem e da sede permaneçam sempre em contato e pressionadas, utilizam-se molas helicoidais conectadas ao anel de selagem (Figura 3 A). Enquanto, a segunda vedação, secundária, é aplicada à sede e ao anel de selagem, pode ser feita por meio de vários anéis com perfis diferentes, tais como: junta, anel *o'ring*, anel “V”, cunha, fole, etc. (Figura 3 B).

Figura 3: Sistemas de selagem com Selo Mecânico

A) Vedação Principal



B) Vedação Secundária



Fonte: Souza (2009, P. 24-5).

O selo mecânico possui duas vedações para que haja a vedação entre o selo mecânico e o equipamento. A vedação primária (chamada também de principal ou dinâmica) bloqueia a passagem do fluido para o eixo do equipamento, enquanto a vedação secundária impede a passagem do fluido pelos interstícios do selo mecânico (RODRIGUES, 2012).

O selo mecânico é um dispositivo mecânico, praticamente, um vedador dinâmico, que faz uso de princípios hidráulicos para reter fluidos e gases, de alta tecnologia e desempenho, com contato que compensa o seu desgaste axialmente e destina-se a isolar dois, ou mais ambientes, quando entre eles passar um eixo rotativo com nenhum ou pouco deslocamento axial. (OLIVEIRA, 2014).

O selo mecânico é utilizado em equipamentos de grande importância como bombas de transporte em refinarias de petróleo, bombas de lama bruta nos tratamentos de água e esgoto, bombas de submersão em construções, bombas de fábricas de bebidas, em usinas termoeletricas e nucleares, bombas de produtos químicos, entre outras (SOUZA, 2009). O selo mecânico além de vedar a passagem de fluido, tem também como vantagem, a redução do atrito entre o eixo da bomba e o elemento reduzindo assim a perda de potência (BRAGA, 2015).

Em um comparativo entre ambos os sistemas de selagem, Antunes Júnior (2012) explica que as gaxetas não trabalhavam bem em condições operacionais mais severas, como para operar com líquidos corrosivos, altas velocidades, altas pressões e elevadas temperaturas. Tem longa vida útil, manutenção praticamente inexistente ou mínima, além de gerar grande economia de energia elétrica, o selo mecânico proporciona inúmeras vantagens e benefícios quando comparado às gaxetas.

As gaxetas são cordões com formato quadrangular responsável pela vedação do sistema e tem como função realizar a vedação do conjunto rotativo da bomba centrífuga horizontal, portanto, o impede o escape do fluido bombeado para não vaze para o meio externo, requer uma refrigeração e uma selagem (SILVA, 2019). Enquanto o selo mecânico é um dispositivo mecânico de forma cilíndrica, de alta tecnologia e alto desempenho, responsável por eliminar e prevenir vazamentos de fluídos, líquidos ou gases sob pressão na caixa de selagem ou câmara do selo, de bombas centrífugas, bombas hidráulicas, reatores, onde o eixo rotativo atravessa seu corpo (OLIVEIRA, 2014).

2.2 Importância de se criar estratégias de manutenção

A manutenção pode ser definida como sendo o termo “que indica como as organizações trabalham para evitar paradas não programadas” (COSTA JÚNIOR, 2008, p.131). Estas paradas podem gerar custos enormes para a organização, como: custos altos de peças e até troca de equipamentos e máquinas; quedas da produção; desperdícios, entre outros problemas.

Para evitar que falhas ocorram, Viana (2016) destaca ser importante seguir passos como: eliminar defeitos e problemas crônicos; implementar planos de inspeção e manutenção preventiva e preditiva; implementar programas de melhoria contínuas dos equipamentos; monitorar os processos de deterioração e obsolescência dos componentes e sistemas industriais. O processo de manutenção gera diversos benefícios para a empresa (Quadro 1).

Quadro 1. Benefícios do processo de manutenção

Benefício	Característica
Aumento da segurança	Um equipamento em perfeito estado de conservação significa segurança para as operações e para o operador.
Melhoria da qualidade	Componentes bem ajustados e em conformidade com as especificações técnicas garantem que os produtos estejam dentro das características de qualidade desejadas;
Aumento da confiabilidade	Quanto menores forem às paradas para manutenção; maior será a disponibilidade do equipamento e sua taxa de utilização.
Redução de custos	Toda manutenção significa um custo para a organização, causado pelo tempo de parada do equipamento, pela mão-de-obra ociosa, pelos custos das peças de reposição, entre outros.

Fonte: Costa Júnior (2008, p. 132).

Estes benefícios descritos por Costa Júnior (2008) destacam a importância de ter um bom sistema de manutenção dentro da empresa, bem como desenvolver uma boa gestão. Liker e Meier (2007) destaca que diversos são os benefícios da manutenção na organização, mas destaca em seus estudos ser o desperdício um dos de maior valor, pois este em grande escala pode comprometer todo trabalho da empresa e o sistema produtivo pode ficar comprometido. Além disso, o desperdício gera também custos mais elevados na linha de produção. No entanto, para realizar a manutenção deve a organização estar ciente de qual tipo implantar em seus trabalhos.

Enfim, os serviços de manutenção são importantes para evitar que falhas ocorram e destaca como sendo necessárias as seguintes ações: eliminar defeitos e problemas crônicos; implementar planos de inspeção e manutenção preventiva e preditiva; implementar programas de melhoria contínuas dos equipamentos; monitorar os

processos de deterioração e obsolescência de componentes e sistemas industriais (VIANA, 2016).

Diante desta realidade, buscando-se evitar falhas, mais propriamente, perdas de fluidos, uma indústria de fabricação de fertilizantes, procurou implantar uma estratégia de manutenção, na qual intuito foi à troca do sistema de selagem da bomba centrífuga, passando de gaxeta para selo mecânico.

3. METODOLOGIA

O estudo experimental foi desenvolvimento em uma empresa produtora de fertilizantes, localizada em um município do interior de Minas Gerais, centrado no acompanhamento da rotina de manutenção da Bomba Centrífuga, horizontal rotor fechado modelo LC100/300 A3, visando eliminar o abastecimento de água e por consequência a perda de fluidos (Figura 5), com substituindo o sistema de selagem de gaxeta para selo mecânico na BA-1519.

Figura 6: Perda de fluídos (ácido fosfórico) da bomba centrífuga com gaxeta



Fonte: Autores (2022).

A equipe de mecânicos realizou o processo de substituição, pois o objetivo desta foi evitar a passagem de fluido (mostrada na Figura 6). Pois segundo Oliveira (2014), o selo mecânico evita a fuga de líquidos e gases, entre o eixo rotativo e a carcaça fixa da bomba, portanto, veda para não haver perda de fluido, consequentemente, evita desgaste prematuro do eixo ou luva, pois não há também superaquecimento da bomba.

O projeto executado no Estudo de Caso possibilita a comparação da troca do sistema de selagem de Gaxeta para Selo Mecânico, com implantação do selo mecânico em 20/01/22, na bomba centrífuga descrita como BA-1519, cuja função é transferir o ácido acabado/finalizado (Ácido fosfórico concentrado) para tanques onde serão estocados/ armazenados.

Os dados levantados, portanto, foram somente de uma bomba centrífuga (BA-1519), que servirão de análise avaliativa para determinar a viabilidade de troca das outras 71 bombas da planta industrial. Neste caso específico, foi realizado um comparativo dos custos de ambos os sistemas de selagem, em como as vantagens desta substituição para o processo produtivo como um todo. Um estudo relevante para a planta industrial, pois como afirma Braga (2015) às empresas necessitam minimizar as perdas durante os processos.

O período de levantamento dos dados ocorreu de 01/06/2021 a 31/06/2021 com relação à selagem com gaxeta, onde foram verificados custos de manutenção (trocas periódicas a cada 45 dias, mais manutenção preventiva), vazamento de produto e consumo de água.

Quanto ao levantamento dos dados da selagem como Selo Mecânico, este ocorreu no mês de set de 2022, após três meses (fevereiro, março e abril) da implantação, período em que se pode avaliar o estado operacional da bomba centrífuga, se havia algum vazamento após a selagem com Selo Mecânico, custos de troca de óleo e de manutenção preventiva. Sendo os dados fornecidos pela gestão de produção, com apoio da gestão de manutenção da empresa.

A tomada de decisão para a realização do projeto foi do gestor de manutenção, que estudou esta substituição de selagem e apresentou para a empresa apenas os custos de com o consumo de água e da perda de produto. Estes foram suficientes para que a direção da área de Planejamento e Controle de Produção (PCP) e a Engenharia de Processos tomassem a iniciativa da troca do sistema de selagem, juntamente com o apoio da Engenharia de Manutenção.

As variáveis analisadas no estudo foram: consumo de água; perda mecânica e a operacionalidade da Estação de Tratamento de Efluentes – ETE. Verificando-se os custos envolvidos nestes processos e comparando-os nos dois tipos de selagem: Gaxeta e Selo Mecânico. Para a viabilidade da proposta de implantação foi verificado com estas variáveis o menor custo anual entre ambos os sistemas de selagem.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo de caso foi realizado em uma indústria de fabricação de fertilizantes, na linha de produção do ácido fosfórico, onde foi desenvolvida uma troca de sistema de vedação de uma bomba centrífuga de gaxeta por selo mecânico. Os resultados identificados referem-se a substituição comparando ambos sistemas de selagem, de Bomba Centrífuga horizontal de rotor fechado, modelo LC 100/300 A3 (BA-1519).

Em sua operacionalidade a bomba, em condições normais, passa por um processo de desgastes interno dos componentes (buchas, rotores, eixo e alojamento das gaxetas), aumentando-se a fuga interna de fluído (ácido fosfórico), comprometendo o rendimento do produto final. A bomba selada com a gaxeta apresenta vazamento, portanto, falha de selagem, que resulta em alterações das condições do processamento do fluído, que ela se propõe a vedar; desperdício do fluído; contaminação do ambiente e também, atraso do processo.

Ao utilizar a gaxeta na vedação da bomba centrífuga há necessidade de adicionar água para refrigerar a gaxeta, fazendo-se uma contra pressão no ácido fosfórico, que está dentro da bomba sendo bombeando. Essa contra pressão deve ser maior que a do ácido

bombeado, evitando-se que o ácido fosfórico saia, ou seja, passe pela gaxeta e vá para o meio externo (ANTUNES JÚNIOR, 2012; BRAGA, 2015; SILVA, 2019).

A questão levantada no estudo é que quando a água é adicionada para fazer a contra pressão no ácido fosfórico e auxiliar na vedação e refrigeração da gaxeta, ela acaba entrando na bomba centrífuga e se misturando (diluindo-se ao ácido fosfórico), isso porque a pressão da água injetada é maior que a do ácido bombeado. Geralmente, a pressão de água de gaxeta deve ser de 0,5 kgf a 1,2 kgf a mais que a pressão do fluido bombeado (no caso ácido fosfórico). Fator que torna indesejável o uso da água, pois com a mistura o ácido fosfórico sai da especificação, ou seja, sem a devida qualidade adequada.

A proposta do estudo de caso foi eliminar a utilização da água dos equipamentos refrigerados, no caso das bombas centrífugas, modificando o processo de selagem da refrigeração da Gaxeta por selo mecânico. Esse sistema de vedação existe no mercado e diferentemente da Gaxeta não demanda utilização de água para fazer a refrigeração e selagem do sistema, evitando o superaquecimento.

No caso da vedação da bomba centrífuga pelo selo mecânico, não haverá necessidade da utilização da água para a refrigeração. O selo demanda apenas de um cartucho de graxa (Figura 6) para evitar o superaquecimento do sistema.

Figura 6: Cartucho de Graxa acoplado a Bomba Centrífuga horizontal



Fonte: Autores (2022).

Cada cartucho de graxa tem duração de três meses, período que também será dispensado o reabastecimento ou manutenção diária. Utiliza-se um lubrificador automático (autolubrificação) programado, que nada mais é do que uma ferramenta aplicada de forma automatizada, cuja função é jogar uma quantidade certa de lubrificante em pontos determinados, principalmente, onde é difícil acesso.

A autolubrificação do selo mecânico funciona da seguinte forma, com software inteligente, o módulo calcula a vida útil do selo durante a operação e a necessidade de lubrificação (conforme estabelecido pelo fabricante e programado no software). Durante sua operacionalidade o sistema permite emissão de jatos lubrificantes, de forma otimizada, podendo ampliar a vida útil do selo. O software também detecta falhas, por meio de um sensor de vibração, que verifica o desalinhamento do eixo em estágio inicial e a manutenção é planejada com antecedência.

Portanto, na empresa analisada no caso do selo mecânico o lubrificador alimenta a caixa do selo (conforme especificação do fabricante) com a graxa, capaz de proporcionar tanto a refrigeração quanto a selagem do sistema. Resumindo, o selo mecânico que está sendo implementado recebe a graxa no lugar da água, tendo como papel limpar as faces de vedação do selo.

De acordo com Antunes Júnior (2012) para uma perfeita operação de vedação e a circulação devida do fluído na bomba, torna-se necessária a lubrificação do selo mecânico, pois está não ocorrendo haverá falha na circulação e o selo sofrerá desgaste e/ou escoamento devido as altas temperaturas.

Desta forma, durante três meses de análise da bomba centrífuga BA-1519 da planta industrial pode-se destacar como vantagens do selo mecânico: uma estanqueidade de 100% de vazamento (Figura 7), conseqüentemente, o produto bombeado não saiu da bomba para o meio externo, diferentemente da Gaxeta que era normal ocorrência desse vazamento (Figura 5). Portanto, a principal diferença entre a gaxeta e o selo mecânico é justamente a vedação total de vazamento e seu formato construtivo, onde a gaxeta é fabricado em cordas lubrificadas e o selo demanda uma tecnologia por trás da sua construção.

Figura 7: Bomba centrífuga após selagem com Selo Mecânico sem perda de fluído



Fonte: Autores (2022).

Este resultado, da limpeza, ou seja, a não perda de fluído da bomba centrífuga, segundo Oliveira (2014, p. 33) ocorre, porque “o selo mecânico evita a passagem, fuga de líquidos e gases entre o eixo rotativo (móvel) a carcaça fixa da bomba”. Souza (2009) explica que mesmo o sistema de vedação de gaxeta ser muito utilizado, o mesmo tem como principal desvantagem a perda de fluidos no processo de refrigeração.

A substituição da gaxeta, foi uma proposta da equipe de manutenção, que vem provar a importância de buscar alternativas de melhorias, para que no processo produtivo, não ocorram falhas desnecessárias. De forma mais abrangente, pode-se dizer que manutenção de um equipamento ou bem são as ações que vão sendo feitas durante a vida

útil do mesmo, mantendo ou repondo sua operacionalidade, da melhor forma possível, gerando qualidade e disponibilidade (BRITO, 2005).

Além disso, a proposta da equipe de manutenção demonstrou que no processo produtivo todos tem uma função a desempenhar e diante dela devem pensar que não podem agir isolados, pois cada um tem um papel a cumprir e dessem estar sempre unidos para melhor realizar as ações, inclusive, a própria manutenção. Todos devem estar empenhados e trabalhar juntos (SLACK et al., 2009).

Após a substituição da gaxeta pelo selo mecânico BA-1519, a equipe responsável pelo projeto, também avaliou as vantagens da execução da melhoria, em ganhos, com a finalidade de verificar a viabilidade, para possível implantação em todo o pátio industrial.

Na avaliação os profissionais da área de manutenção, destacaram 4 vantagens da substituição, conforme destacado no Quadro 2, que juntas somam umas 5 vantagens, que é uma redução de custos anual para a empresa de R\$ R\$ 1.554.646,00, com apenas a substituição da selagem de uma bomba centrífuga.

Quadro 2: Vantagens da substituição da implantação do selo mecânico na BA-1519

	Vantagem	Descrição¹
1	Redução do consumo de água	Consumo de água ² : 1,56 m³/h/bomba Redução no consumo dia: 1,56 x 24= 37,44 Redução do consumo ano: 37,44 x 365 = 13.665,60 m³/ano Custo variável do tratamento ³ : R\$0,7/m³ Ganho com a iniciativa: R\$ 9.500,00 /ano
2	Redução de perda mecânica (vazamentos com uso da gaxeta)	Perda mecânica estimada: 111 t/ano/bomba Margem do P2O5: R\$ 1342/t Ganho com a iniciativa: 111 x 1342 = R\$ 149.000,00/ano
3	Redução do consumo de cal/calário na ETE (estação de tratamento de efluentes pela perda do produto)	Redução do consumo de calcário: 0,90 kt/ano (balanço no BC) Redução do consumo de cal: 0,66 kt/ano (balanço no BC) Preço: calcário R\$114,44/t: Preço: cal R\$ 306,08/t: Ganho com a iniciativa: 0,90 x 114,44 + 0,66 x 306,08 = R\$ 305.000,00/ano
4	Redução da diluição do ácido fosfórico	Ganho de produção de ácido fosfórico concentrado: 913 t/ano Ganho com a iniciativa: 913 t/ano x R\$1.342,00 = R\$1.225.246,00/ano
5	Redução de custos anual	Redução de custo= R\$ 9.500,00 + R\$ 149.000,00 + 305.000,00 + R\$1.225.246,00 = R\$ 1.554.646,00 / ano
¹ todos os valores são referentes a aplicação do selo em apenas 1 bomba – BA-1519		
² Média estimada considerada FU		
³ Fonte: GGF		

Fonte: Engenharia de manutenção da empresa (2022).

Rodrigues (2012) destaca que comparado à gaxeta somente o selo mecânico garante a vedação total, confiável e durável; permite o equipamento trabalhar sob grandes velocidades e em temperaturas de pressões elevadas, sem apresentar desgastes consideráveis; permite a vedação de produtos tóxicos e inflamáveis. Ainda, neste estudo pode-se ressaltar que com o selo mecânico há também uma redução do consumo de energia, pois a bomba trabalhando com menor eficiência, contribuindo para o aumento de falhas, obviamente, desperdiçando energia.

Economia de energia por redução de falhas também foi destacada por Oliveira (2014) e ou atrito entre os componentes de vedação, força centrífuga na partida dos equipamentos (BRAGA, 2015). Além disso, segundo destacado por Souza (2014) o selo mecânico se mostra viável, pois pode ter uma vida útil de 2 anos, além de poder passar por um processo de recuperação (substituição das faces de vedações). No entanto, segundo estudos de Rodrigues (2012) a vida útil do selo mecânico depende da segurança dos materiais, sendo os projetos feitos baseados com base em testes rigorosos feito em laboratório e em serviço. Desta forma, é fundamental manter um constante controle de qualidade.

Considerando o processo de substituição, torna-se necessário realizar um comparativo (Quadro 3) entre os dois tipos de selagem da bomba centrífuga, para analisar a viabilidade da proposta, considerando os custos de ambos os processos. No caso da gaxeta a vida útil é de aproximadamente 45 dias úteis, depois deste período recomenda-se a troca, portanto, 8 trocas por ano. Quanto ao selo mecânico utiliza-se a graxa que tem vida útil de 3 meses, portanto, 4 reabastecimentos da graxa por ano.

Quadro 3: Comparativo da substituição da gaxeta por selo mecânico nas bombas centrífugas.

Gaxeta	Selo Mecânico
A gaxeta não consegue vedar totalmente, portanto, há vazamento de fluído para o meio externo.	O selo mecânico veda 100%, não havendo vazamento de fluido para o meio externo.
Devido ao vazamento de fluído, há perda de produto no vazamento.	Não tem perda de produto, pois não há vazamento.
Produto vazado contamina o meio ambiente, pois contamina a água e se torna um Efluente a ser tratado e devolvido para o meio ambiente.	Não contamina meio ambiente, não tem efluente com necessidade de tratamento.
A mistura da água com ácido altera diretamente a concentração do fluido, causando reclamação dos clientes.	Não há alteração da concentração do fluido, portanto, sem reclamação dos clientes interno e externo.
Necessita de manutenção preventiva.	Não necessita de manutenção preventiva
Vida útil 45 dias.	Vida útil de 2 anos
Demanda a utilização de água	Não demanda utilização de água
Baixo Custo da Gaxeta	Custo elevado de implantação do selo mecânico

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Todas essas melhorias trazidas pelo selo mecânico vem corroborar para o entendimento de que é primordial antes de se fazer uma mudança que haja um gerenciamento de mudanças para que o sucesso da implantação da proposta seja positivo. E, na prática Ribeiro (2005) explica que é necessário que as organizações desenvolvam ambientes propícios para mudanças. Buscando informações, ações compartilhadas e interpretadas pela administração da empresa e os que farão parte desta mudança.

E, antes que seja dado o passo inicial para a redução dos custos com a troca do selo mecânico, que inicialmente, parece alto, foi necessário reconhecer o que realmente seja uma implementação de uma estratégia empresarial, para que o sucesso fosse evidente. Para Slack et al. (2009) o segundo papel da produção é implementar a estratégia empresarial. A maioria das empresas possui algum tipo de estratégia, mas é a produção que a coloca em prática.

Na Tabela 1 tem-se um levantamento dos custos de manutenção da bomba centrífuga selada com gaxeta e com o selo mecânico, pode observar que neste comparativo a segunda selagem (R\$ 83.504,00) inicialmente torna-se mais onerosa do que a gaxeta (R\$ 39.827,36).

Tabela 1: Comparativo da troca da gaxeta x selo mecânico (anual)

SELAGEM DA BOMBA CENTRÍFUGA POR SISTEMA DE SELAGEM			
Selagem com Gaxeta		Selagem com Selo Mecânico	
Descrição materiais	Custo (R\$)	Descrição materiais	Custo (R\$) ¹
Gaxeta ½ Teflon + grafite	R\$175,38	Selo Mecânico (unidade)	R\$ 33.000,00
Gaxeta de ½ grafite 2007	R\$ 181,20	Placa	R\$ 20.000,00
Anel de lanterna	R\$ 406,34	Graxa Lithplus EP2 Lubrax	R\$ 1.720,00
Subtotal 1	R\$ 762,92	Subtotal 1	R\$ 54.720,00
Descrição mão-de-obra ²	Custo (R\$)	Descrição mão-de-obra	Custo (R\$)
1 Eletricista (1 hora)	R\$424,00	1 Eletricista (4 Horas)	R\$ 1.696,00
1 Mecânico (1 hora)	R\$424,00	3 Mecânico (4 horas)	R\$ 5.088,00
Subtotal 2	R\$ 848,00	Subtotal 2	R\$ 6.784,00
TOTAL 1: Sub 1 + sub 2	R\$ 1.610,92	TOTAL: Sub 1 + sub 2	R\$ 61.504,00
MANUTENÇÃO DE 3/3³ MESES POR SISTEMA DE SELAGEM			
A cada três meses	Custo (R\$)	A cada 3 meses	Custo (R\$)
Luva de proteção do eixo	R\$ 1.892,00	Graxa Lithplus EP2 Lubrax	R\$ 1.720,00
Mão-de-obra ⁴ (4 horas)	R\$ 5.088,00	Mão-de-obra	R\$ 280,00
TOTAL 2	R\$ 6.980,00	Subtotal 3	R\$ 2.000,00
MANUTENÇÃO ANUAL POR SISTEMA DE SELAGEM			
Descrição	Custo (R\$)	Descrição	Custo (R\$)
Troca inicial (Total 1)	R\$ 1.610,92	Troca inicial (Total1)	R\$ 61.504,00
Total 1 x 7 trocas/ano	R\$17.276,44	Total 2 x 3 trocas ano	R\$ 6.000,00
Total 2 x 3 vezes/ ano	R\$ 20.940,00	Manutenção Preditiva	R\$ 16.000,00
Total Anual	R\$ 39.827,36	Total anual⁵	R\$ 83.504,00

¹ Os valores do selo e da Placa, podem variar devido a fatores externos como valor do dólar no mercado, efeitos da pandemia e da Guerra da Ucrânia. Cotação realizada em 1 junho de 2022.

² Custo de mão-de-obra R\$ 424,00 por hora.

³ Três em três meses, porque na troca do equipamento já está inclusa 1 inicial.

⁴ 2 mecânicos, 1 eletricista = R\$ 424,00h x 3 = R\$1.272,00/por hora

⁵ Soma das graxas apenas três, pois uma já está cotada nas substituição do selo (válida por 3 meses).

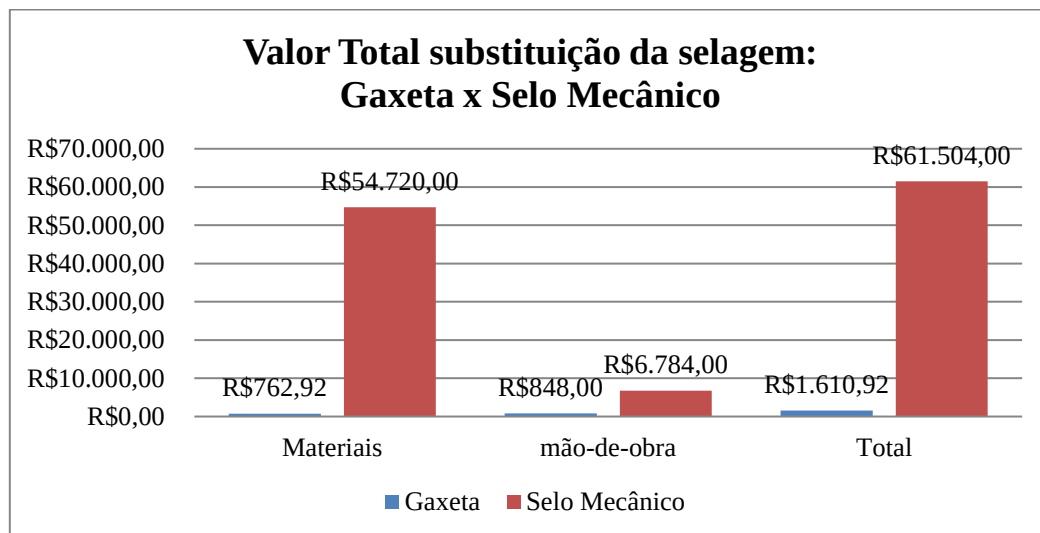
Fonte: Setor de Compras/Setor Manutenção empresa (2022).

Analisando os dados da Tabela 1, pode-se observar três pontos comparativos em se tratando de custos envolvidos com a selagem: custos de troca do sistema (materiais e

mão-de-obra); custos de manutenção em um período de três meses e custo anual com de manutenção total com as duas selagens.

No Gráfico 1 é possível perceber que o valor do investimento inicial com a substituição do selo mecânico foi alto, comparado a selagem com gaxeta, com uma diferença de R\$ 53.957,08 de materiais; de R\$ 5.936,00 de mão-de-obra e de 59.894,00 no total da troca (Gráfico 1)

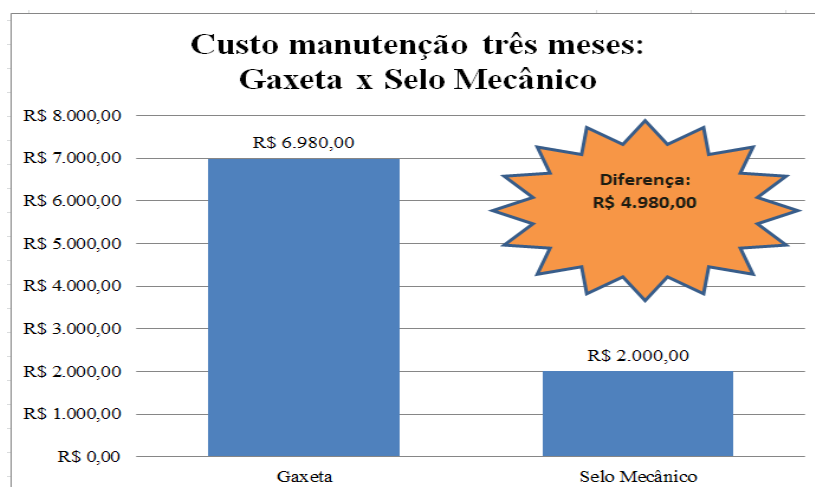
Gráfico 1: Investimento inicial com a substituição da Gaxeta por sele mecânico



Fonte: Autores (2022).

Em se tratando da manutenção, tomando um período de análise de três meses de gaxeta o total de custo foi de R\$ 6.980,00 e com o selo mecânico foi de R\$ 2.000,00. Portanto, uma economia de R\$ 4.980,00 (Gráfico 2).

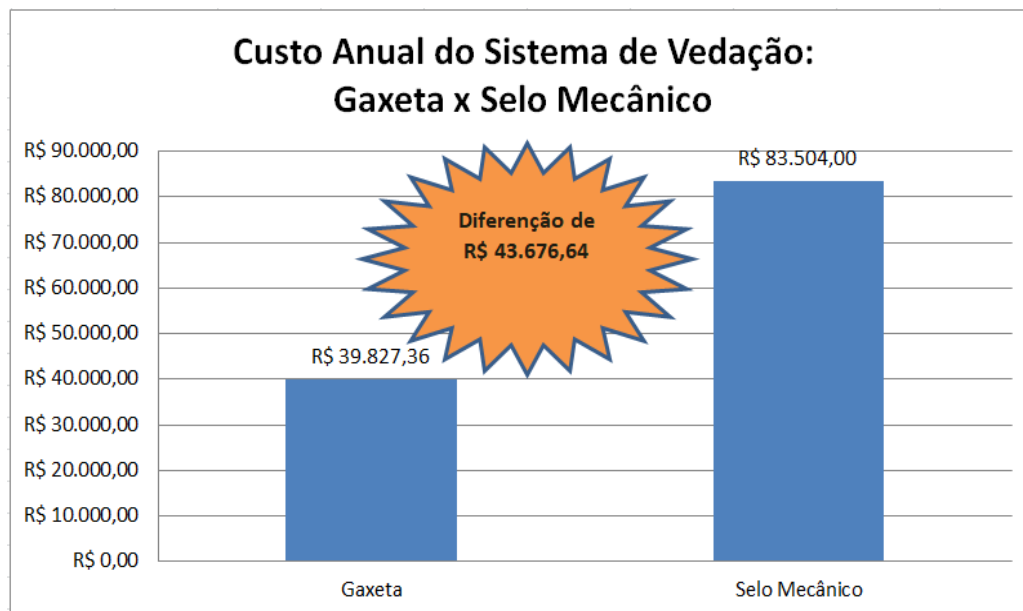
Gráfico 2: Manutenção em três meses de análise: Gaxeta x Selo Mecânico



Fonte: Autores (2022).

Na Tabela 1 apresentaram-se os custos de um ano, período estimado que o selo mecânico possa trabalhar em condições normais de operacionalidade do selo mecânico, que teve uma diferença superior de R\$ 43.676,64 do selo mecânico para a gaxeta, conforme, Gráfico 3.

Gráfico 3: Diferença da implantação do sistema de selagem: Gaxeta x Selo Mecânico

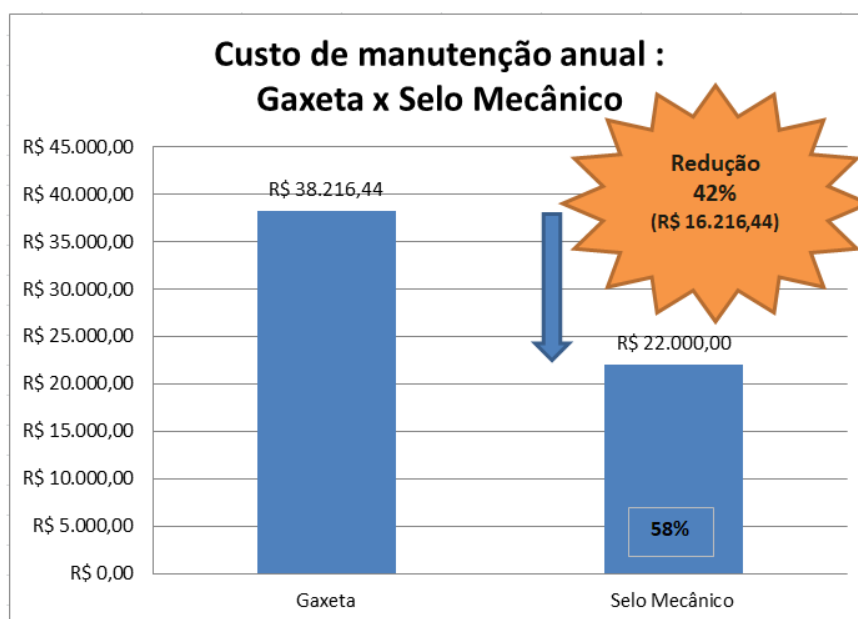


Fonte: Autores (2022).

Em se tratando da manutenção da gaxeta e selo mecânico a empresa teve uma economia relativamente significativa no número de manutenções e no custo destas. Em se tratando da quantidade, com a gaxeta eram realizadas 7 trocas anuais, com duas manutenções preventivas três vezes ao ano. Enquanto com o selo continuaram as manutenções preventivas três vezes ao ano (com reposição da graxa), mas agregada a manutenção preditiva (sistema de autolubrificação). Foram eliminadas, portanto, as sete manutenções corretivas de troca da gaxeta anual.

Em um comparativo de custos, primeiro, com a gaxeta, conforme Tabela 1, havia um número de trocas de 7 vezes ao ano, no valor de R\$ 17.276,44 e um total de manutenção preventiva duas três vezes ao ano, no valor de R\$ 20.940,00. Portanto, um total de manutenção gasto de R\$ 38.216,44. Enquanto, com o selo mecânico o número de manutenção passou para apenas duas trocas de óleo três vezes ao ano, do óleo, com custo de R\$ 6.000,00 e com a manutenção Preditiva (lubrificação automatizada) no valor de R\$ 16.000,00, portanto, um total de R\$ 22.000,00. Portanto, o ganho do setor de manutenção anual após a troca com o selo mecânico foi redução de R\$ 16.216,44, ou seja, de 42% do custo anual de manutenção (Gráfico 4).

Gráfico 4: Redução anual de manutenção com a selagem por selo mecânico



Fonte: Autores (2022).

Como a troca é recente, posteriormente, foi avaliada a vida útil do selo na bomba centrífuga, mas segundo Silva (2019) o histórico analisado para todos os selos mecânicos é de 3 anos de operação. Neste caso, o período será mais que suficiente para que haja retorno do investimento do selo mecânico da bomba centrífuga BA-1519.

Analisando os custos comparativos, percebe-se que o selo mecânico tem um custo inicial maior do que a gaxeta, no entanto, percebe-se que a manutenção é bem menor, com zero de paradas, pois há apenas a troca da graxa, podendo este tornar-se mais econômico ao longo do tempo do que a gaxeta. Principalmente, considerando a redução do custo anual da empresa R\$ R\$ 1.554.646,00, com a implementação do selo mecânico por bomba-centrífuga.

O selo mecânico tem como desvantagem ser o componente mecânico mais frágil em todo conjunto do bombeamento, principalmente, no caso de vibração, que pode resultar na quebra do mesmo. Necessitando de parada imediata, para realizar manutenção corretiva não planejada (BRAGA, 2015). É importante destacar que na indústria uma preocupação com a manutenção correta da bomba, visando prolongar sua vida útil.

Neste caso a planta industrial adota a manutenção preditiva, que foi uma estratégia de monitoramento contínuo do equipamento, visando prever o momento que iniciará esse desgaste e o ponto que aumenta as chances de fuga ou mesmo de quebra do equipamento. Para esta estratégia preditiva tem-se um sistema online e um sensor, que faz a leitura e o registro da vibração e temperatura dos mancais. Por meio da interpretação dos dados gerados, feita pela equipe de manutenção preditiva, torna-se possível evidenciar se o equipamento está fora dos parâmetros aceitáveis de vibração. Para auxiliar a manutenção preditiva também há um inversor de frequência instalado com o objetivo de controlar a velocidade do motor (RPM). O inversor atua intertravado (conectado) com um transmissor de pressão (PT) conectado a tubulação de descarga da bomba, que faz a leitura da pressão e por meio de uma lógica se conecta ao inversor fazendo com que ele atue desacelerando ou acelerando a bomba, para evitar cavitação (fenômeno de

vaporização de um líquido pela redução da pressão, durante seu movimento) e a quebra do selo.

Enfim, o selo mecânico em termos mecânicos apresenta como vantagens: redução de atrito entre o eixo da bomba e o elemento de vedação, reduzindo completamente a perda de potência; eliminação do desgaste prematuro do eixo e da bucha; vazão ou fuga do produto em operação é mínima ou imperceptível; permite operar fluidos tóxicos, corrosivos ou inflamáveis com segurança e tem a capacidade de absorver o jogo e a deflexão normais do eixo rotativo (ANTUNES JÚNIOR, 2012; OLIVEIRA, 2014; BRAGA, 2015). O selo mecânico ainda tem como vantagem, uma melhor detecção de valhas, que podem ser vistas nas inspeções visuais, devido à existência de cavitação anterior ou ao mesmo tempo da falha destes dispositivos (SOUZA, 2009; BRAGA, 2015).

CONCLUSÕES

O estudo demonstrou que é positiva a substituição do sistema de vedação das bombas centrífugas da planta industrial da indústria de fertilizantes, pois demonstra a viabilidade de troca da gaxeta pelo selo mecânico, na redução no consumo de água de selagem para refrigeração dos componentes mecânicos.

De início o motivo desta estratégia do setor de manutenção era apenas reduzir o consumo de água utilizada para o resfriamento da bomba, necessária no caso do uso da gaxeta. Alcançou-se, portanto, a redução no consumo de água de selagem para refrigeração dos componentes mecânicos em aproximadamente 90 m³/h e um ganho capital de 9,2 mm/ano.

Vantagens desta substituição na análise da bomba centrífuga BA-1519 da planta industrial da empresa de produção de fertilizantes, também foram identificadas, sendo as principais: redução do consumo de água (100%) deixando de gastar R\$ 9.500,00 ano; redução de perda mecânica de R\$ 149.000,00 ano; redução do consumo de cal/calçário na ETE R\$ 305.000,00 ano; não ocorrência de diluição do ácido fosfórico custo de R\$ 1.225.246,00/ano, que resultaram juntos em uma redução de custos anuais com água, perda mecânica, ETE e perda de produto ou produto com má qualidade de R\$ 1.554.646,00/ano. Além destes ganhos, também se pode considerar que não mais o ácido fosfórico foi jogado para o ambiente externo, eliminando risco de contaminação.

No comparativo de custos a gaxeta mostra-se um sistema de selagem inicialmente, menos oneroso (aproximadamente 50%) do que o selo mecânico, principalmente, devido ao seu alto custo dos componentes e da manutenção. No entanto, o estudo mostrou apenas um período estimado de um ano, pois foi avaliado o período de três meses de execução do experimento, quando ambas as peças teriam que passar por manutenção. O ganho pode ser maior, caso o selo mecânico na bomba centrífuga possa ter vida útil maior de um ano.

Desta forma, pode-se concluir que é viável para a indústria de fertilizantes realizar a substituição do sistema de selagem com selo mecânico em toda a planta industrial, ou seja, em todas as 71 bombas centrífugas restantes. A substituição resulta entre as vantagens destacadas, uma maior eficiência da bomba centrífuga. O estudo contribui para uma possível tomada de decisão pelos dirigentes da indústria bem como o setor de manutenção, quanto a um projeto que apresenta ganhos técnicos, econômicos, ambientais e hídricos.

AGRADECIMENTOS

Quero iniciar agradecendo primeiramente a Deus, “O Senhor é meu pastor e nada me faltará” (SALMO 23). Aos meus pais, Uguis Meire da Silva e Aparecida Garcia Dutra Silva, que nunca deixaram de me apoiar, incentivar, cobrar e, mesmo iniciando de longe e finalizando aqui em Jataí, junto com eles, me deram todas as condições adequadas para chegar nesse momento e a oportunidade de poder ter feito essa escolha de ir e depois voltar para casa. A minha irmã, Kézia Garcia Silva, que teve papel fundamental em todo esse processo, por já ter trilhado esse caminho e orientado pelos caminhos mais fáceis de se percorrer, muito obrigado! Não menos importante, aos amigos/irmãos que fiz durante essa caminhada, Rodrigo Amorim, Thiago Silva e Yuri Lopes, sem vocês teria sido bem mais difícil chegar até aqui. Aos meus avós, Euripedes e Valdenir, que tenho a honra de ainda tê-los em vida para poder vivenciar essa conquista junto comigo. Jesus e Eurides (Dona Rosa), in memoriam, que mesmo não estando mais entre nós, tenho a certeza de que estão radiantes e cheios de orgulho de me verem alcançar esse título, de onde estiverem. Aos orientadores de ambos os estágios que tive a honra de fazer, Neuber Figueiredo, Moábio Mendes, Rafael Hashimoto, Josafá Soares, Leandro Colognese, que todos me ensinaram e contribuíram para o meu crescimento, tanto profissional, quanto pessoal. E em especial ao professor Dr. Wenderson Souza, que além de orientador nesse trabalho, também me orientou em um momento durante o estágio realizado na empresa BRF S.A., saiba que eu tenho um grande orgulho e me sinto honrado de ter recebido todo o ensinamento que o senhor compartilhou comigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, P. S. **Gestão da manutenção**: aplicada às áreas industrial, predial e elétrica. São Paulo: Érica, 2017.

ANTUNES JÚNIOR, W. **Análise da troca do Selo Mecânico pelo Selo Cartucho das Bombas Centrífugas B-3222 ABCD do Sistema de Venda e Recirculação de Escuros**. 2012; 73f. Dissertação (Especialização em Engenharia da Confiabilidade aplicada à Manutenção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Curitiba, 2012.

BAIOTTO, A.; COSTA, A. C.; SCHMIDT, A. Práticas ambientais em uma indústria de fertilizantes. **Anais...** XVI Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão, Universidade no Desenvolvimento Regional, 4, 5 e 6 de outubro de 2011. Disponível em: <https://docplayer.com.br/11502491-Praticas-ambientais-em-uma-industria-de-fertilizantes.html>. Acesso em: 8 mar. 2022.

BARAN, L. R. **Manutenção centrada em confiabilidade aplicada na redução de falhas**: um estudo de caso. Monografia (Especialização em Gestão Industrial, Produção e Manutenção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2011.

BRAGA, R. L. **Sistema de vedações para soluções de bombeamento e desperdício de água**. 2015; 43 f. Monografia (Engenharia de Produção) – Universidade de São Francisco – USF, Campinas, 2015.

BRUNATTO, M. L. **Eficiência da moagem de pó cerâmico em moinho agitador de esferas**. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2017.

CELLA, D.; ROSSI, M. C. L. Análise do Mercado de fertilizantes no Brasil. **Interface Tecnológica**, v. 7, n. 1, p. 41-50, 2010. Disponível em: <http://fatectq.edu.br/interfacetecnologica/arquivos/volume7/artigo04.pdf>. Acesso em: 15 set. 2022.

COSTA JÚNIOR, Eudes Luiz. **Gestão em processos produtivos**. Curitiba, PR: IBPEX. 2015.

COSTA, L. M.; OLIVEIRA E SILVA, M. F. **A indústria química e o setor de fertilizantes**. Brasília: BNDS - Biblioteca Digital, 2012.

CUNHA, L. G. S. **Cenário e desafios da indústria de fertilizantes**. 2017. 63 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia, 2017.

CURI, A. **Minas a céu aberto: planejamento de lavra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

DRESCHER, M. **Manual de piloto agrícola**. São Paulo: Bianch, 2012.

GUELBERT, M. Estruturação de um sistema de gestão da manutenção em um empresa do segmento automotivo. Dissertação de Mestrado (Engenharia - Em qualidade e desenvolvimento de produto e processo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2004.

GAUTO, M.; ROSA, G. **Química industrial**. [recurso eletrônico]. Porto Alegre: Bookman, 2013.

JACOB, P. **Meio ambiente e sustentabilidade**. Formação em Ação. Paraná: Departamento do Trabalho, 2017. Disponível em: http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/formacao_acao/2semestre2017/fa2017_sustentabilidade_DET_anexo3.pdf. Acesso em: 8 set. 2022.

LOUREIRO, F. E. L.; MONTE, M. B. M.; NASCIMENTO, M. Agrominerais - potássio. IN: **Rochas e Minerais Industriais no Brasil: usos e especificações**. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008. p. 175-203.

MALPAGA, Isaac. **O departamento de manutenção**. Clube dos Autores, 2009.

OLIVEIRA, K. S. B. **Uso de selos mecânicos em substituição às gaxetas**. 2014; 54 f. Monografia (Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada)- Marinha do Brasil, Centro de instrução almirante graça aranha – CIAGA, Curso de aperfeiçoamento para oficiais de máquinas – APMA, Rio de Janeiro, 2014.

RIBEIRO, Antonio de Lima. **Gestão de pessoas**. São Paulo: Saraiva, 2005.

ROCHA, S. S. et al. Análise comparativa de métodos de lavra na mineração de gipsita em Pernambuco. **Anais...** Contribuição técnica ao 19º Simpósio de Mineração, parte integrante da ABM Week, realizada de 02 a 04 de outubro de 2018, São Paulo, SP, Brasil.

RODRIGUES, A. J. **Estudo das causas de falhas em selos mecânicos de bombas centrífugas para circulação de óleo térmico**. 2012; 93 f. Monografia (Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2012.

SILVA, L. G. M. **A generalização difícil: a vida breve da Câmara Setorial do Complexo Químico seguida do estudo de seus impactos em duas grandes empresas do ramo em São Paulo**. São Paulo: Annablume: Fapesp, 2000.

SILVA, L. H. D. **Otimização do estoque de selos mecânicos**. 2019; 40 f. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica. Curitiba, 2019.

SOUZA, V. L. de. **Estudo técnico-econômico da substituição de gaxetas por selos mecânicos em bombas centrífugas**. 2009; 52 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Taubaté – UNITAU, Faculdade de Engenharia Mecânica, Taubaté, 2009.

VIANA, H. R. G. **Fatores de sucesso na gestão de manutenção**. Rio de Janeiro, 2016.

VILLAS BÔAS, H. C. **A Indústria extrativa mineral e a transição para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro, CETEM/MCTI/ CNPq, 2011.

VITOLO, M. PESSOA JÚNIOR, A. SOUZA, G. M.; CARVALHO, J. C. M.; STEPHANO, L. M. A.; SATO, S. **Biotecnologia farmacêutica**: aspectos sobre aplicação industrial. São Paulo: Blucher, 2015.

WESZ JÚNIOR, V. J. **Dinâmicas e estratégias das agroindústrias de soja no Brasil**. Rio de Janeiro: E-papers, 2011.