

Avaliação de uma Estação de Tratamento de Efluentes pela aplicação do kaizen

Juliana Cássia de Souza Caliar (Universidade Federal de Itajubá) julianacassiacaliari@gmail.com

Gabrielly Joyce Amaral de Oliveira (Universidade Federal de Itajubá) gabriellyamaral@msn.com

Claudio Vitor Maquine Salvador (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais) cau-maquine@hotmail.com

Lara Barbosa Silveira (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais) larabs@gmail.com

Wilson Trigueiro de Sousa Junior (Universidade Federal de São João Del Rei) wilson.trigueiro@ufsj.edu.br

Resumo:

A inovação e estudos sobre estratégias de mercado para conquista dos clientes continuamente são base para o crescimento da qualidade das indústrias e para a maior satisfação dos clientes. Com isso, este trabalho tem o objetivo de avaliar o processo produtivo de uma Estação de Tratamento de Efluentes, através do Kaizen, com o objetivo de garantir melhorias, aumentar a capacidade produtiva e aumentar a produtividade do óxido de nióbio. Os resultados obtidos foram aumento da capacidade produtiva de 40 toneladas/mês de óxido de nióbio para 60 toneladas/mês, redução de 180 minutos nas etapas de preparo do leito e homogeneização dos reatores, com um rendimento de 58,1% e 10 minutos nas etapas de preparação do polímero e centrifugação, com rendimento de 6,9%, que foi de grande importância no processo, ampliação do tratamento de água de sais de 1.890 m³/mês para 2.880 m³/mês, visto que a meta seria atingir 2.835 m³/mês, diminuição do tempo de envio da água de 40 minutos para 30 minutos, acionamento remoto de bombas evitando movimentações dos colaboradores, substituição de guarda-corpos danificados, substituição da escada de marinheiro por uma escada mais segura.

Palavras-chave: Processo, Melhoria, *Lean Manufacturing*, *Kaizen*.

Evaluation of an Effluent Treatment Station by application of *Kaizen*

Abstract:

Innovation and market strategy studies for customer achievement are continuously the foundation for the growth of the quality of the industries and for greater customer satisfaction. The aim of this work is to evaluate the production process of an Effluent Treatment Station through Kaizen, with the objective of guaranteeing improvements, increasing the productive capacity and increasing the productivity of the niobium oxide. The results obtained were an increase of the productive capacity of 40 tons/month of niobium oxide to 60 tons/month, reduction of 180 minutes in the preparation stages of the bed and homogenization of the reactors, with a yield of 58.1% and 10 minutes in the polymer preparation stages and centrifugation with a yield of 6.9%, which was of great importance in the process, increasing the water treatment of salts from 1,890 m³/month to 2,880 m³/month, since the goal would be to reach 2,835 m³/month, reduction of water delivery time from 40 minutes to 30 minutes, remote pump activation avoiding employee movements, replacement of damaged guardrails, replacement of the sailor ladder with a safer ladder.

Keywords: Process, Improvement, *Lean Manufacturing*, *Kaizen*.

1. Introdução

No cenário econômico atual, as empresas tendem a superar a competitividade buscando formas de aumentar a sua capacidade e eficiência, diminuindo desperdícios sem perder a

qualidade final do produto. A concorrência para captação de clientes, aliada ao aumento do volume de vendas, faz com que as companhias busquem formas de melhorar sua competitividade e obter uma redução nos custos de seus processos (PIZZI *et al.*, 2015).

Segundo Shingo (1996), as melhorias tanto do processo quanto da competitividade são conseguidas através da engenharia de valor que trabalha aperfeiçoamentos no produto e da engenharia de produção ou da tecnologia de fabricação que visa melhorias no processo. Nesse contexto, a metodologia *Lean Manufacturing* tem como objetivo aumentar a eficiência da produção através da eliminação contínua de desperdícios. E para conseguir este resultado, esta metodologia é composta de ferramentas como *Kaizen*, que facilita a busca para gerar uma maior competitividade da empresa no mercado, obtendo um menor custo na manipulação de matéria-prima, estoque de processo e produtos acabados, dentre outro.

Com isso, este trabalho tem o objetivo de avaliar o processo produtivo de uma Estação de Tratamento de Efluentes, através do *Kaisen*, com o objetivo de garantir melhorias, aumentar a capacidade produtiva e aumentar a produtividade do óxido de níobio.

2. Revisão bibliográfica

2.2 *Lean Manufacturing*

O *Lean Manufacturing* é uma filosofia que visa a implantação de uma Manufatura Enxuta, baseando na busca pelo fim de desperdícios e elementos desnecessários a fim de reduzir custos, adotando como ideia básica a de se produzir apenas o necessário, no momento necessário e na quantidade requerida (HELLENO *et al.*, 2016).

O *Lean Manufacturing* tem como base de produção a combinação de técnicas gerenciais com as máquinas a fim de se produzir mais com menos recursos (COETZEE; VAN DER MERWE; VAN DYK, 2016). Quando a produção artesanal os trabalhadores utilizam ferramentas manuais e fabricam cada produto de acordo com as especificações do comprador, atendendo um de cada vez, a produção em massa, os profissionais projetam produtos que serão fabricados pelos trabalhadores sem qualificação, e operam equipamentos com finalidades específicas, produzindo grande quantidade de produtos padronizados.

Desta forma, a produção enxuta, veio para combinar a vantagem da produção artesanal, evitando o alto custo, com a produção em massa, evitando a inflexibilidade. A Manufatura Enxuta fornece competências que tratam de situações variadas e desafios empresariais, podendo fornecer uma redução de custos dirigidos ao cliente, implementação de novas tecnologias, assim como uma estrutura sólida para avaliar benefícios e construir abordagens de sucesso que facilitem uma conexão mais clara entre as operações e os resultados em todos os aspectos do processo (ZYLSTRA, 2008; HELLENO *et al.*, 2016).

Os benefícios do *Lean Manufacturing* são redução do tempo de entrega ao cliente, redução de estoques para os fabricantes, melhor gestão do conhecimento e processos mais robustos, os quais apresentam menores erros e menor retrabalho, ganhos financeiros, maior entendimento dos processos e do fluxo de valor destes e redução do inventário, como aponta (CHAPLIN *et al.*, 2015).

2.2 As ferramentas do *Lean Manufacturing*

2.2.1 *Kaizen*

A ferramenta *Kaizen* foi criada no Japão pelo engenheiro Taiichi Ohno, e tem como significado melhoria contínua. Sua finalidade é reduzir os desperdícios gerados nos processos produtivos, buscando a melhoria contínua dos produtos e o aumento da produtividade. A

eficiência do *Kaizen* é melhor definida quando usado com outras ferramentas Lean (COETZEE; VAN DER MERWE; VAN DYK, 2016).

Imai (1986), diz que a ferramenta *Kaizen* utiliza questões estratégicas com base no tempo. Nesta estratégia, os pontos-chave para a produção ou processos produtivos são a qualidade (como melhorá-la), os custos (como reduzi-los e controlá-los), e a entrega pontual (como garanti-la). O fracasso de um destes três pontos significa perda de competitividade e sustentabilidade nos atuais mercados globais.

Para Imai (1986) metodologia *Kaizen* baseia-se na eliminação de desperdício, pequenas melhorias, envolvimento de colaboradores da gerência até o chão de fábrica, baixo nível de investimento nas melhorias, utilizando a criatividade e simplicidade, aplicável a qualquer setor, apoio da gestão a vista tanto na aplicação quanto na divulgação e motivação, foco no chão de fábrica, orientação pelos processos, envolvimento individual e coletivo, atrelado à nova mentalidade e autodisciplina, aprendizado através da ação.

A escolha de um processo da organização a ser trabalhado é o início de uma mudança. Para isso, deve seguir um roteiro e deixar claro a todos os colaboradores que as melhorias a serem alcançadas dentro da organização é responsabilidade de todos. Para isso é necessário estudar, discutir, testar uma maneira mais adequada de melhoria do processo. A avaliação e a documentação dos resultados proporcionam a consulta e a repetição do fluxo de informação. E naturalmente, os funcionários adotam a prática da melhoria contínua na sua rotina dentro do ambiente de trabalho (OHNO, 1997).

3. Metodologia

O trabalho consiste de uma pesquisa ação, como o objetivo avaliar o processo produtivo de uma Estação de Tratamento de Efluentes de uma planta química, pela aplicação de *Kaizen*, com o objetivo de garantir melhorias, aumentar a capacidade produtiva e aumentar a produtividade do óxido de nióbio.

O método da pesquisa-ação é caracterizado pela união das concepções de pesquisa e de intervenção do pesquisador, ou seja, com a realização de diagnósticos, com a identificação de problemas e com o planejamento e a implementação de soluções (MARTINS; MELLO; TURRINI, 2014).

Este estudo utilizou o *Kaizen* em 5 etapas. Cada etapa durou um dia, com exceção da Etapa 5, com duração de oito dias.

No primeiro dia, o projeto iniciou com a capacitação de todos os membros da equipe, para uma maior integração, domínio sobre o tema e definição do problema a ser enfrentado. Depois, a equipe fez uma análise do processo atual, e os objetivos e as metas a serem atingidas com a conclusão do projeto foram definidas.

No segundo dia, as coletas de dados em campo foram iniciadas, para obter uma visão real do processo e verificar se os trabalhos executados seguem a teoria. O processo produtivo completo foi acompanhado, a quantidade de matéria prima utilizada e o tempo de duração em cada etapa do processo produtivo foram registrados.

No terceiro dia, os testes com diferentes tipos de cal em laboratório foram feitos, para verificar se cada melhoria proposta poderia ser realmente adaptada ao processo, pois como se trata de uma área química, é de extrema importância que sejam feitos testes em pequenas proporções, antes de se iniciar o procedimento em campo, devido aos grandes riscos principalmente com queimaduras, pelo fato da utilização de ácidos e bases fortes no processo.

No quarto dia, com os resultados dos testes, verificou-se que grande parte das melhorias sugeridas ao longo do projeto traria bons resultados, e então, iniciou-se a fase de implementação, acompanhamento dos resultados e padronização do procedimento. E por último, do quinto dia em diante, foram apresentados os resultados e preparada toda a área com a equipe da manutenção, para que se iniciasse o novo procedimento.

3.1 Estudo de caso

A empresa, localizada na região do Campo das Vertentes, é uma importante produtora de ligas metálicas e produtos químicos. Em 1990, a empresa tornou-se líder no mercado de ligas especiais de alumínio, e instalou novos equipamentos, incorporando tecnologia à extração mineral e produção industrial. A partir de 1996, concentrou seu foco em duas linhas de atuação - ligas especiais de alumínio/tabletes e óxidos de tântalo e nióbio, fortalecendo sua vocação químico-metalúrgica.

A empresa possui a planta química e a planta metalúrgica. A planta química é constituída de uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), departamento de Tântalo, o qual produz óxidos de tântalo (Ta_2O_5) e de nióbio (Nb_2O_5), e o departamento de Sais, o qual produz sal de flúor (produção de KBF_4).

A planta de Ta/Nb produz os respectivos óxidos a partir de minérios (como a columbita, FeNb e FeTaNb) e resíduos que contém os elementos de interesse. Ao longo de praticamente todo o processo, estes elementos e contaminantes estavam presentes na forma de fluoretos, que eram removidos como efluentes sólidos, líquidos e gasosos. A maior parte dos efluentes líquidos eram utilizados pela planta de sais como fontes de flúor e boro para a produção do KBF_4 .

As matérias primas microlita, escórea e tantalita, eram ricas em tântalo e podem ser processadas pela planta para obtenção dos óxidos de tântalo e nióbio. A microlita e a escórea, quando processadas, podem conter fósforo (P), impureza de difícil separação, podendo contaminar o tântalo e o nióbio.

Os efluentes líquidos gerados pela fábrica de sais, os efluentes líquidos do processo do Ta/Nb e os resíduos sólidos gerados na digestão eram tratados na ETE, que os convertem em resíduos sólidos classe II (disposto em aterro) e efluente líquido tratado (lançado na rede pluvial).

3.1.1 O processo produtivo

3.1.1.1 Óxidos de tântalo e nióbio

A produção dos óxidos de tântalo e nióbio é feito em três etapas:

a) Digestão: consiste na lixiviação ácida das matérias-primas (minérios e resíduos contendo Ta/Nb) utilizando-se HF e H₂SO₄ em meio aquoso, ou seja, retirar o Ta/Nb da fase sólida, e passa-los para a fase líquida;

b) Extração: consiste na extração líquido-líquido dos componentes de interesse (Ta/Nb) do licor proveniente da etapa anterior - digestão utilizando MiBK (Metilisobutilcetona) como solvente orgânico seletivo. O Ta e o Nb se misturam com o MiBK e pela diferença de densidade, ficam por cima. Esta separação era feita em vários estágios que consiste em mesas com 6 gavetas cada, dando um total de 55 estágios de separação, sendo que cada gaveta possui um agitador que garante a mistura da fase leve - MiBK com a fase pesada - licor. O processo é 100% contra-corrente e o MIBK é utilizado em circuito fechado;

c) Precipitação: consiste na precipitação do Ta e do Nb, em separado, na forma de óxidos hidratados (hidróxidos), e secagem e calcinação para obtenção dos óxidos. A água-mãe do Ta é reciclada para a extração e parte das águas de lavagem reciclada na própria precipitação. O restante das águas-mãe e de lavagem eram enviadas para tratamento na ETE.

No caso do Nb, o agente precipitante é o ácido bórico (H₃BO₃). A água-mãe é reaproveitada como matéria prima/fonte de flúor para a fábrica de sais.

No mesmo galpão onde ocorre a etapa de precipitação, encontramos também os processos de secagem, calcinação e preparação dos lotes.

Secagem: remoção da umidade livre das pastas de Ta/Nb.

Calcinação: remoção do restante da água de cristalização dos hidróxidos.

Preparação dos lotes: beneficiamento físico (captação, separação magnética, peneiramento e moagem) e mistura/homogeneização dos óxidos produzidos na precipitação.

3.1.1.2 Produção de KBF₄

O processo produtivo dos Sais é constituído de duas macro etapas:

a) Digestão de sais: consiste na recuperação das unidades de flúor contidas no Ácido Residual (efluente líquido da Extração) mediante sua complexidade com Boro (H₃BO₃), gerando HBF₄. O HBF₄ era enviado para Fábrica de sais onde ocorria a reação de precipitação do KBF₄ com adição do KF, KCl e HF. Este KBF₄ tem o formato de pasta, pela qualidade inferior, e era utilizado como nucleante na produção do KBF₄. Outra matéria prima importante era o Complexado, que consiste na água-mãe da precipitação de Nb₂O₅.

b) Precipitação de sais: consiste na precipitação do KBF₄ mediante reação do Complexado com uma fonte de Potássio (tipicamente KCl). O processo é feito em bateladas. O complexado separado por centrifugação era secado em secadores de panela e em seguida peneirado. O peneiramento se destina à separação de aglomerados e da fração fina, devido aos requerimentos granulométricos da especificação do cliente. As águas-mães de lavagem do KBF₄ eram enviadas para tratamento na ETE.

3.1.1.3 A Estação de Tratamento de Efluentes (ETE)

O processo da ETE consiste em neutralização, precipitação e decantação. Os efluentes destinados à ETE eram na maioria ácidos (efluentes líquidos dos Sais e resíduos sólidos da Digestão Ta/Nb). A exceção se refere às águas da Precipitação de Tântalo (excesso de água

mãe e águas de lavagem), contendo NH_4F e excesso de NH_4OH (pH 9). O excesso de NH_3 contida nestas águas era atualmente destruída mediante reação com Hipoclorito de Cálcio (CaClO), que entende-se gerar cloraminas e finalmente N_2 . A adição de suspensão de cal virgem aos efluentes promove a fixação dos fluoretos, sulfatos, a precipitação dos demais contaminantes, como metais hidróxidos/óxidos hidratados.

Na prática, os efluentes eram adicionados respeitando a regra ácido sobre água, por questões de segurança e também, para preservação dos reatores, que se mantém sempre com mistura alcalina. Os efluentes eram adicionados no leito de cal de acordo com proporções aproximadas, de forma a garantir o efluente líquido tratado tipicamente em pH 9. Conforme legislação ambiental, este pH deve ser de 6 à 9, mas observa-se que a boa separação sólido-líquido por centrifugação (com injeção de polímero flocculante na alimentação da centrífuga) ocorre em faixas de pH mais elevado, tipicamente de 9 à 11.

A polpa gerada nos reatores da ETE era bombeada para uma centrífuga decanter, com alimentação direta de polímero flocculante, conforme acima mencionado. A lama gerada (denominada borra ou lama da ETE) apresenta 50% de umidade e era classificada como Classe II (destinada em aterro licenciado). O efluente líquido tratado segue para o decantador e em seguida, para quatro bacias de decantação em série (piscinas), que visam separar sólidos em suspensão. Após a decantação (realizada em forma contínua), o efluente era descartado para a rede pluvial. Segue de forma resumida, o fluxograma da ETE, representado pela Figura 12.



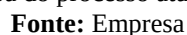
Figura 12: Fluxograma Processo ETE
Fonte: Própria

3.1.2 O projeto

A planta química estava em uma fase de expansão e em busca de novos clientes, e seu objetivo era aumentar a capacidade produtiva de óxido de nióbio de 40 toneladas para 60 toneladas/mês. Um dos maiores desafios era neutralizar um maior volume de água de sais e, para tal fato, seria necessário aumentar toda a capacidade produtiva da ETE. Então, iniciou-se um estudo para verificar a melhor maneira de se ter um maior volume de efluentes tratados na ETE. O *Kaizen* foi usado para desenvolvimento deste estudo.

Seguindo os passos apresentados na metodologia, foram iniciadas as atividades da primeira etapa. Após o treinamento de todos os envolvidos, foi iniciado o estudo para identificação do problema. A quantidade de $\text{O Nb}_2\text{O}_5$ produzida é 40 ton./mês e a meta é 60 ton./mês, o consumo de água de sais tratada atualmente é $1890 \text{ m}^3/\text{mês}$ e a meta é $2835 \text{ m}^3/\text{mês}$.

Após a identificação do problema, foi desenvolvido um fluxograma (Figura 13) ilustrando a conexão das demais áreas com a ETE e, foi iniciada a coleta de dados na área. No dia seguinte, após finalizada a coleta dos dados, foi desenvolvida uma descrição detalhada (Tabela 2) de como ocorre o processo produtivo atual na ETE, baseada no procedimento.



Sabendo então, que o procedimento atual não atenderia a demanda prevista, no terceiro dia, iniciou-se um estudo para verificar quais eram os principais pontos de gargalo no processo da ETE, e a partir desses pontos, foi elaborado um Diagrama de Causa e Efeito apontando esses principais problemas, conforme Figura 14.



a) Neutralização direta de água de sais: tem como objetivo do teste avaliar a viabilidade de fazer toda a neutralização no leito de cal. Inicialmente a água de sais foi colocada em um béquer com agitação e foi monitorado o tempo e a temperatura de reação até o ponto de neutralização (pH=9), o qual foi medido com papel de tornassol. Depois foram adicionados tipos diferentes de matéria prima para verificar a melhor opção;

b) Cal hidratada com borra preta: 48 gramas de cal hidratada foram adicionadas (equivalente à cal virgem do procedimento que era usado na ETE) e 39 gramas de borra preta. O pH final foi de 9 e os resultados foram: difícil visualização do ponto de neutralização; e o material apresentou-se como uma pasta, não sendo possível sua decantação;

c) Cal virgem sem borra preta: 30 gramas de cal virgem foi calculada, mas não foi suficiente para neutralizar a água de sais. A quantidade de cal necessária foi de 45 gramas (parcialmente hidratada) e o pH final foi de 12. Os resultados foram grande dificuldade de estabilização e o ponto de neutralização foi indeterminado, pois o material continuou reagindo após pH 9, e a projeção de água de sais durante a adição de cal;

d) Cal hidratada sem borra preta: foram adicionadas 48 gramas de cal hidratada (equivalente à cal virgem do procedimento que era usado na ETE) e o pH final foi de 9. Os resultados foram fácil visualização do ponto de neutralização e nítida separação dos sólidos, mesmo sem polímero;

e) Neutralizar a borra preta da digestão à seco: foi feita por misturas em betoneiras, com diferentes quantidades de cal hidratada, e o resultado foi satisfatório.

Com estes testes realizados, concluiu-se que o processo de neutralização direta é viável com o uso de cal hidratada, não é possível a adição de borra preta à reação com cal hidratada, dada à dificuldade de separação dos sólidos, a qualidade da cal virgem usada não atende aos requisitos de processo, o pH varia com o uso de cal virgem, tornando o controle de processo difícil, o emprego de cal hidratada tem grande potencial de trazer benefícios em termos de produtividade, segurança e controle de processo.

3.1.2 Análise dos resultados

No quarto dia, após serem realizados todos os testes e com todas as sugestões de melhorias que atenderiam e seriam viáveis de serem aplicadas ao processo a curto prazo em mãos, para cada item identificado no Diagrama de Causa e Efeito (Figura 13), foram implementadas neutralização de borras, armazenamento da cal, falta de treinamento em empilhadeira, falta de inspeção, funcionamento das bombas, preparo dos leitos, controle de reação e de níveis dos reatores.

O fluxograma foi atualizado (Figura 15) com as melhorias definidas, e as outras áreas foram interligadas com a ETE.

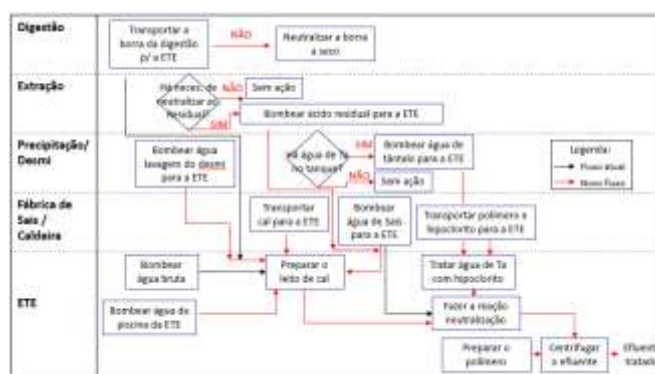


Figura 15: Novo fluxograma do processo produtivo

Fonte: Empresa

A fim de padronizar o processo e garantir que as melhorias implantadas seriam benéficas, foi elaborado também um novo procedimento, revisado com todas as melhorias que foram

adquiridas com o *Kaizen*. Com esse novo procedimento, todos os operadores da ETE seriam treinados, para seguirem corretamente e sanassem as dúvidas que viessem a surgir.

Após o treinamento dos operadores, no quinto dia, a equipe acompanhou a execução da atividade com o novo procedimento, garantindo segurança e nenhuma dificuldade com a reestruturação do processo.

Em seguida, toda a análise do processo foi feita novamente, cronometrando os novos tempos e considerando os novos consumos. A partir destas mudanças, uma comparação entre processos atual e antigo foi feita e os seguintes resultados obtidos:

a) Preparação do leito de cal hidratada: cada leito de cal preparado consome 6.000 litros de água de sais e cada leito leva 65 minutos para ser preparado. A capacidade prevista para o turno de 6 horas deveria ser de 5,5 leitos por turno, mas apenas 4 leitos eram preparados. A capacidade produtiva prevista é igual a $6/11=5,5$ leitos por turno;

b) Reação: cada reação dura em média 65 minutos, a capacidade prevista para um turno de 6 horas deveria ser de 5,5 reações por turno (limitado por tubulação única de leito de cal para o reator), mas o observado foi que apenas 4 reações eram feitas por turno. A capacidade produtiva prevista é igual a $6/1,1= 5,5$ reações por turno;

c) Centrifugação: cada reator é centrifugado em 75 minutos e a centrífuga é lavada em 30 minutos. Para um turno de 6 horas, a capacidade prevista, seria de 4,4 centrifugações por turno onde, cada centrifugação consome 5.000 litros de água de sais. Mas o produtividade observada foi de 3,5 centrifugações por turno.

A capacidade produtiva prevista é igual a $(6-0,5)/1,25= 4,4$ centrifugações por turno.

O novo processo, a capacidade atual era de 4 reações por turno que equivale a aproximadamente 24 m³/turno de água de sais neutralizada e no fim do mês, aproximadamente 2.880 m³/mês. E a capacidade prevista é de 5 reações por turno que equivale a aproximadamente 30 m³/turno e no fim do mês, aproximadamente 3.600 m³/mês. Todos os cálculos foram baseados seguindo um roteiro que a ETE processa por 24 horas por dia, durante seis dias na semana. Aos domingos, a produção da ETE é interrompida para a realização de manutenções, limpezas e outras paradas necessárias.

Por fim, foi elaborado um relatório, para divulgar a toda empresa, a capacidade alcançada com o novo procedimento operacional. A Figura 17 representa o fluxo da ETE com as melhorias implementadas.



Figura 17: Novo fluxograma com melhorias implementadas
Fonte: Própria

3.1.2 Melhorias realizadas

As melhorias facilitaram a operação dos trabalhadores e também o processo em termos de produção e segurança. As melhorias que dependiam de disponibilidade de verba e compra de materiais foram realizadas durante o ano, e não no período do *Kaizen*.

Melhorias implantadas com o *Kaizen*:

a) Instalação de válvulas para medição de pH dos reatores ao nível do solo.



Figura 18: Melhoria para medição de pH
Fonte: Empresa

b) Revisão de bombas/tubulações para aumentar a velocidade de envio de água para o tanque de cal e melhoria no agitador. Uma bomba Schneider para teste no envio de água da piscina para o leito de cal foi colocada e trocado o agitador de cal por um que possui revestimento de borracha. O tempo de envio da água diminuiu de 40 minutos para de 30 minutos e o agitador de cal com mal estado conservação ficou protegido contra corrosão.

Melhorias implantadas após o período do *Kaizen*:

a) Substituição da escada de marinheiro por uma escada mais segura;

b) Substituição de estruturas corroídas e danificadas por novas;



Figura 19: Antes e depois da manutenção na plataforma dos tanques.
Fonte: Empresa

c) Substituição de guarda-corpos danificados;

d) Avaliação da integridade estrutural dos reatores;

e) Raspagem e pintura com tinta epoxi dos reatores da ETE.



Figura 20: Antes e depois das melhorias nos reatores
Fonte: Empresa

f) Acionamento remoto de bombas para evitar movimentações: foi colocado um painel comandado por PLC que controla o tempo de envio de materiais para os reatores. Antes, o operador tinha que subir e descer as escadas dos reatores e dos tanques de estocagem várias vezes por turno. Após as substituições, houve redução de movimentações desnecessárias e de derramamento de tanques.

6. Conclusão

Após os doze dias de estudo e trabalho, a empresa conseguiu, com a implantação do *Kaizen*, aumentar a sua capacidade produtiva de 40 toneladas/mês de óxido de nióbio para 60 toneladas/mês, atingindo assim, seu objetivo final. Concluiu-se também, que seria possível tratar os efluentes gerados, na quantidade suficiente exigida pelo processo, sem alterar a qualidade do efluente final.

Melhorias implantadas foram instalação de válvulas para medição de pH dos reatores ao nível do solo, o tempo de envio da água diminuiu de 40 minutos para 30 minutos e o agitador de cal com mal estado conservação ficou protegido contra corrosão, substituição da escada de marinho por uma escada mais segura, substituição de guarda-corpos danificados, avaliação da integridade estrutural dos reatores, raspagem e pintura com tinta epoxi dos reatores da ETE, acionamento remoto de bombas evitando movimentações dos colaboradores, uma redução de 180 minutos nas etapas de preparo do leite e homogeneização dos reatores, com um rendimento de 58,1% e 10 minutos nas etapas de preparação do polímero e centrifugação, com rendimento de 6,9%, que foi de grande importância no processo.

Em relação a água de saís, o seu tratamento poderia ser ampliado de 1.890 m³/mês para 2.880 m³/mês, visto que a meta seria atingir 2.835 m³/mês. E podemos perceber também, que se todo procedimento fosse seguido corretamente, poderíamos atingir o consumo de até 3.600 m³/mês, o que superaria as expectativas e as metas estabelecidas no início do estudo.

Como trabalhos futuros sugere-se ter planejamento, controle e manutenção das melhorias implantadas, para garantir a execução correta do procedimento da planta química, avaliar outros ambientes da planta para implantação de melhorias como escritórios, refeitórios, estacionamento, almoxarifado.

Referências bibliográficas

- CHAPLIN, L.; HEAP, J.; O'ROURKE, S. *Could "Lean Lite" be the cost effective solution to applying lean manufacturing in developing economies?* International Journal of Productivity and Performance Management, Vol. 65, n.1, 2016.
- COETZEE, R.; VAN DER MERWE, K.; VAN DYK, L. *Lean implementation strategies: how are the Toyota way principles addressed?* South African Journal of Industrial engineering, Vol. 27, n. 3, p. 79-91, 2016.
- HELLENO, A. L.; MORAES, A. J. I.; SIMON, A. T. *Integrating sustainability indicators and Lean Manufacturing to assess manufacturing processes: Application case studies in Brazilian industry.* Journal of Cleaner Production, 2016.
- IMAI, M. *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success.* New York: McGraw-Hill, 1986.
- MARTINS, R. A.; MELLO, C. H. P.; TURRIONI, J. B. *Guia para elaboração de monografia e TCC em Engenharia de Produção.* São Paulo: Atlas, 2014.
- OHNO, T. *O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala.* Porto Alegre: Bookman, 1997.
- PIZZI, G.; MARZOCCHI, G. L.; ORSINGER, C.; ZAMMIT A. *The Temporal Construal of Customer Satisfaction.* Journal of Service Research, Vol. 18, n. 4, p. 484-497, 2015.