

CASO DE IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA TOTAL (TPM) NO SISTEMA ALCALINIZANTE DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE VARGEM GRANDE DO SISTEMA PRODUTOR SÃO LOURENÇO

Lucas Gomes Nogueira ⁽¹⁾

Engenheiro Mecânico pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP - 2018). MBA em Engenharia e Gestão de Manufatura e Manutenção na Universidade de São Paulo (POLI USP - 2023).

Nilson Alves de Moura ⁽²⁾

Engenheiro Eletricista pela Faculdade Anhanguera Educacional (2011). Pós-graduação "Especialização em Empreendedorismo e Inovação Tecnológica nas Engenharias", realizado pela UNESP, UNIVESP e CREA-SP (2023).

Edilson Pereira da Silva ⁽³⁾

Graduado (1989) e Pós-graduado em Química (1996) pela Faculdade Oswaldo Cruz. MBA em Saneamento Ambiental pela Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo (FESP-SP - 2021).

Mara Yoshino de Castro ⁽⁴⁾

Graduada em Química pela Faculdade Oswaldo Cruz (2014). MBA em Gestão e Tecnologias Ambientais pela Universidade de São Paulo (POLI USP - 2018).

Mario Satoshi Ogata ⁽⁵⁾

Engenheiro Químico pela Faculdade Oswaldo Cruz (2008)

Endereço ⁽¹⁾: Estrada da Mineração Ouro Branco, nº 660 - Tijuco Preto - Vargem Grande Paulista - SP - CEP: 06730-000 - Brasil - Tel: +55 (11) 93062-3693 - e-mail: lgnoqueira@sabesp.com.br

RESUMO

Este trabalho apresenta a implantação da Manutenção Produtiva Total, especificamente dos pilares de Manutenção Autônoma, Manutenção Planejada, Melhorias Específicas e Educação & Treinamento, sobre o sistema alcalinizante, escolhido como piloto, da estação de tratamento de água de Vargem Grande, pertencente ao Sistema Produtor São Lourenço. A aplicação desta metodologia é relevante para trazer maior competitividade para a empresa diante de um mercado de maior concorrência favorecida pela aprovação do Novo Marco do Saneamento Básico. Como principais resultados, obteve-se indicadores de confiabilidade e disponibilidade maiores, promoveu-se uma melhor integração e maior capacitação das equipes de manutenção e operação com melhoria no ambiente de trabalho em termos de cooperação, controle, limpeza e organização. Além disso, diminuiu-se a necessidade de manutenções corretivas sobre os equipamentos, dando maior tempo para a equipe de manutenção aprimorar o sistema com as sugestões que foram feitas durante todo o processo. A aplicação da Manutenção Produtiva Total no sistema piloto foi facilitada, visto que as pessoas de todos os níveis hierárquicos de ambas as empresas da Parceria-Público Privada estavam empenhadas em implementá-la.

PALAVRAS-CHAVE: Manutenção Produtiva Total, Estação de Tratamento de Água, Parceria Público-Privada.

1. INTRODUÇÃO

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp é uma empresa de capital mista que opera no estado e atende 375 municípios. O atendimento do abastecimento de água à região metropolitana da capital, com população superior a 20 milhões de pessoas, se dá por meio de nove sistemas produtores de água, que em conjunto produzem mais de 70 m³/s. Em abril de 2018 entrou em operação o Sistema Produtor São Lourenço, com capacidade nominal de produção de 4,7 m³/s, que atende cerca de dois milhões de pessoas nas cidades de Barueri, Carapicuíba, Cotia, Itapevi, Jandira, Santana de Parnaíba e Vargem Grande Paulista e parcialmente os municípios de Osasco e Pirapora. Este sistema foi concebido por meio de parceria público-privada (PPP), com previsão de concessão de 25 anos. No contrato havia a previsão de que todo o sistema fosse construído pela SPE e posteriormente a prestação de serviços de manutenção eletromecânica e outros, também fossem de sua responsabilidade. Cabe frisar que a prestação de serviços tem como abrangência as seguintes instalações: estação elevatória de água bruta (EEAB), adutora de água bruta (AAB), estação de tratamento de água (ETA) e duas estações elevatórias de água tratada (EEAT). As demais

instalações, integrantes do sistema de adução de água tratada, ficaram sob a responsabilidade da Sabesp, que também, de acordo com o contrato, iria operar o Sistema Produtor São Lourenço.

Neste contexto, visando alcançar altos níveis de prestação de serviços da manutenção, foi exigido em contrato a implantação da Manutenção Produtiva Total (TPM), que é uma metodologia muito utilizada para promover a competitividade das empresas. Através dela, busca-se a redução de perdas existentes no processo, com a intolerância sobre defeitos, falhas ou acidentes, aumentando a vida útil dos equipamentos, garantindo um produto de alta qualidade e envolvendo a participação de todos de forma eficiente e eficaz, inclusive com treinamentos técnicos dos operadores e mantenedores. Além do mais, com a aplicação conjunta da metodologia 5S, a TPM é capaz de proporcionar um ambiente de trabalho mais motivador, integrado, saudável, limpo, organizado e seguro.

Assim, considerando todos os benefícios da TPM, decidiu-se implementá-la na planta no presente momento. Com base na estratégia empresarial e por estarem ligados diretamente com a área operacional, a implantação inicial teve ênfase nos seus 4 primeiros pilares: manutenção autônoma, manutenção planejada, melhorias específicas e educação & treinamento. Em virtude do tamanho da planta e o alto número de equipamentos, iniciou-se tal implantação sobre o sistema alcalinizante, que é crítico para a manutenção e operação, devido uma quantidade relevante de intervenções que são necessárias para seu funcionamento adequado além da importância que possui sobre o tratamento da água.

O sistema alcalinizante, como exposto, é imprescindível em uma ETA convencional, sendo responsável pela produção e dosagem de leite de cal, no início e no fim do tratamento, ajustando, respectivamente, o pH da água para dentro do intervalo ideal de coagulação e o pH para não corroer ou incrustar as adutoras de distribuição para a população. Este trabalho, portanto, traz, por meio das pesquisas e aplicações, a implementação desses 4 pilares da TPM sobre o sistema alcalinizante, escolhido como sistema piloto, da Estação de Tratamento de Água da ETA Vargem Grande, integrando as empresas que formam esta PPP. As melhorias operacionais e de manutenção são expostas para ilustrar todo o processo de implementação da TPM. Importante destacar que a Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA) foi utilizada para dar suporte a manutenção planejada e que os dois indicadores de disponibilidade e confiabilidade foram calculados para o sistema alcalinizante, demonstrando as evoluções obtidas.

2. OBJETIVOS

Avaliar a aplicação dos pilares de manutenção autônoma, manutenção planejada, melhorias específicas e educação e treinamento da TPM sobre o sistema alcalinizante da ETA Vargem Grande, demonstrando os passos utilizados, os desafios enfrentados e os resultados obtidos sobre o sistema.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL

A TPM, em inglês *Total Productive Maintenance*, é uma metodologia que surgiu a partir dos esforços das empresas japonesas em aprimorar a manutenção preventiva, que foi concebida originalmente nos Estados Unidos na década de 50 (YAMAGUCHI, 2005). No Brasil, o interesse sobre a TPM foi demonstrado desde a primeira visita de um dos principais contribuintes da metodologia, Prof. Seiichi Nakajima, em 1986, para realização de palestras na cidade de São Paulo e pela participação de algumas empresas instaladas no Brasil ao prêmio TPM Awards do JIPM na década de 90. Atualmente, as empresas que se destacam na aplicação da TPM no Brasil são: Tilibra, Alcoa (unidade de Poço de Caldas), Cromex, Eletronorte, Unilever e a Tetrapak (CARRIJO & LIMA, 2008).

Segundo Bamber *et al.*, a TPM é uma filosofia de mudança e foi descrita como uma estratégia que compreende os seguintes objetivos gerais: (i) maximizar a eficácia do sistema, por meio da otimização de disponibilidade de equipamentos, desempenho, eficiência e qualidade do produto; (ii) estabelecer um sistema de manutenção total englobando manutenção preventiva, prevenção da manutenção e manutenção relacionada a melhoria; (iii) envolver todos os funcionários, desde a alta administração até o chão de fábrica, abrangendo departamentos como de planejamento, operação, manutenção e de projetos; (iv) estabelecer uma estratégia de manutenção preventiva para os equipamentos baseado em atividades autônomas de pequenos grupos.

Em complementação, Ribeiro (2014) expõe que a TPM busca a falha zero e quebra zero das máquinas e equipamentos, zero defeito nos produtos e perda zero nos processos, incrementando a produtividade e, por consequência, gerando maior competitividade para a empresa que aplica a metodologia.

Kardec & Nascif (2012) destacam a importância da qualificação das pessoas defendida pela metodologia. Através de treinamentos, preparam-se os colaboradores para conduzir as fábricas do futuro, dotadas de automação, desenvolvendo-os. A TPM permite que a equipe de manutenção se concentre em atividades de maior complexidade, já que os operadores executarão as tarefas menos complexas como: limpeza, ajustes de gaxetas, medição de vibração e temperatura, troca de lâmpadas, troca de filtros, substituição de instrumentos, dentre outros.

Na Tab. 1, a seguir, demonstra-se um resumo das definições e objetivos dos quatro pilares da TPM que foram aplicados neste trabalho.

Tabela 1 - Os 4 pilares aplicados da Manutenção Produtiva Total.

Pilar da TPM	Descritivo / Objetivo do Pilar
Manutenção Autônoma	Capacitação da mão de obra. Objetiva treinar e capacitar os operadores para que os mesmos se envolvam nas rotinas de manutenção e nas atividades de melhorias que previnem a deterioração dos equipamentos.
Manutenção Planejada	Foca no Quebra Zero e no aumento da eficiência e eficácia do equipamento. Atua sob três formas: planejamento das manutenções preditivas, preventivas e paradas. Enquanto as duas primeiras objetivam eliminar paradas, a terceira, quando é necessária, deve ser muito bem planejada a fim de proporcionar uma parada assertiva que siga o cronograma e os custos planejados. Por isso é cada vez mais comum as empresas utilizarem ferramentas de gestão de projetos aplicadas nas paradas.
Melhorias Específicas	Objetiva reduzir o número de quebras e aumentar a eficiência global do equipamento através do envolvimento de times multidisciplinares compostos por engenheiros de processo, operadores e manutentores. Com um time de pessoas com conhecimento diversificado, a chance de melhorias eficazes serem implantadas é muito maior.
Treinamento e Educação	Elevar o nível e capacitação da mão de obra. Mão de obra escassa e sem conhecimento é um dos grandes problemas industriais atualmente. Com a indústria 4.0 em que a tecnologia muda constantemente, o problema se agrava mais ainda e o treinamento torna-se parte fundamental do sucesso das empresas. A Educação e treinamento devem ser sistemáticos na companhia.

Fonte: Silveira, 2016.

Destaca-se que o 5S, ferramenta desenvolvida por Takashi Osada durante a década de 1980, é uma base importante para a aplicação da TPM. O conceito surgiu pela primeira vez no setor manufatureiro japonês, sendo composto por cinco palavras japonesas: Seiri (senso de utilização), Seiton (senso de organização), Seiso (senso de limpeza), Seiketsu (senso de higiene e saúde) e Shitsuke (senso da autodisciplina). Além de ajudar a construir e manter um ambiente de trabalho seguro, limpo, organizado, de maior produtividade e qualidade, o 5S trabalhará na transformação cultural das pessoas, fazendo que elas aceitem melhor as mudanças de hábitos, preparando o local e os colaboradores para iniciarem a aplicação da TPM.

3.2. ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHA – FMEA

A Análise de Modos e Efeitos de Falha, do inglês *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), é um método amplamente utilizado em engenharia para verificar e identificar medidas que suprimirão falhas por meio da identificação de suas causas e de seus efeitos.

Seu principal objetivo é aprimorar e utilizar os resultados por meio de análises detalhadas e quantitativas das falhas para que possam ser eliminadas antes de chegarem ao cliente. Por meio dessa avaliação, pode-se apontar a causa e o impacto dos erros críticos em um determinado processo para que eles sejam evitados.

A partir do FMEA, portanto, realiza-se a descrição funcional do sistema e de cada componente, analisam-se as falhas associadas de cada função, identificam-se os modos como as falhas se originam e o seu efeito potencial.

Em seguida, quantifica-se, de 0 a 10, a frequência, a severidade e a dificuldade de detecção de cada ocorrência. A multiplicação dessas 3 variáveis resulta no Número de Prioridade de Risco (RPN – *Risk Priority Number*) e indica qual efeito de falha é mais significativo e poderá trazer maior risco para a operação, segurança ou meio ambiente.

A construção do FMEA permite a avaliação das práticas atuais da manutenção, auxiliando na verificação das melhores atividades a serem executadas na manutenção autônoma, se o plano de manutenção planejada precisa ou não de modificações e se é possível ou não fazer melhorias no sistema considerando as condições de segurança, manutenção e operação.

3.3. INDICADORES DE MANUTENÇÃO

3.3.1 MTTR e MTBF

Com o objetivo de avaliar e monitorar os resultados obtidos com a implementação da TPM, alguns indicadores de manutenção foram calculados sobre os principais equipamentos do sistema piloto. Dessa forma, os conceitos e fórmulas serão apresentadas neste subcapítulo.

O MTTR (*Mean Time to Repair*) significa, em português, tempo médio para reparo. Este indicador é obtido pela divisão entre o somatório dos tempos para reparo (manutenção corretiva) e o número total de ações de manutenção corretiva durante um determinado intervalo de tempo. Calcula-se o MTTR, portanto, através da eq. 1, seguinte:

$$MTTR = \frac{\text{Somatória dos tempos de reparo}}{\text{Número de intervenções realizadas}} \quad \text{equação (1)}$$

MTBF (*Mean Time Between Failures*) significa tempo médio entre falhas. A execução de um plano de manutenção preventiva e preditiva adequado trará melhoria neste indicador por aumentar a média de tempo entre as falhas do equipamento. Para calcular tal indicador, utiliza-se a eq. 2 abaixo:

$$MTBF = \frac{\text{Tempo total de funcionamento}}{\text{Número de falhas ocorridas}} \quad \text{equação (2)}$$

3.3.2 DISPONIBILIDADE E CONFIABILIDADE

Segundo a norma ABNT NBR 5462:1994, disponibilidade é a capacidade de um item estar em condições de desempenhar certa função no instante requerido por um intervalo de tempo determinado. Obtendo os valores dos indicadores de MTTR e MTBF, é possível calcular a disponibilidade de um equipamento, utilizando a eq. 3:

$$\% \text{ Disponibilidade} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \quad \text{equação (3)}$$

Levando em consideração a mesma norma, a confiabilidade é definida como a capacidade do item desempenhar uma função requerida sob as condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo. Para obter tal resultado, é necessário calcular o MTBF do equipamento e, posteriormente, utilizar a eq. 4, a seguir, considerando a hipótese de que as falhas sejam aleatórias (conforme distribuição exponencial):

$$R(t) = e^{-\frac{t}{MTBF}} \times 100 \quad \text{equação (4)}$$

Sendo R(t) o valor da confiabilidade, dada em porcentagem, em função do tempo.

4. METODOLOGIA

Com a definição do sistema piloto, das responsáveis e integrantes de cada pilar, iniciou-se a implantação da TPM pelos pilares da Manutenção Autônoma e Manutenção Planejada de forma concomitante, seguindo os passos expostos na tabela 02, abaixo:

Tabela 2 - Fase I de implantação da TPM sobre o sistema alcalinizante.

0	Definições
0.1	Definir área escopo
0.2	Realizar a análise funcional sobre o sistema alcalinizante para maior conhecimento sobre a área escopo.
0.2	Definir equipe, facilitadores e líderes de cada pilar
1	5S e manutenção autônoma
1.1	Identificar a condição atual de 5S
1.2	Treinar os colaboradores nos conceitos e práticas do 5S e manutenção autônoma
1.3	Dividir a área piloto em seções, se necessário
1.4	Planejar e realizar o dia D
1.5	Criar resultados do dia D (antes e depois do 5S, cronograma e roteiros da manutenção autônoma e plano de ação para reestabelecimento das condições ideais)
1.6	Construir formulário de auditoria sobre o pilar
2	Manutenção planejada
2.1	Realizar a aplicação do FMEA para avaliação dos planos de manutenção planejada e auxílio sobre a construção dos roteiros da manutenção autônoma
2.2	Avaliar o plano atual de manutenção planejada e aplicar mudanças necessárias
2.3	Destacar a necessidade dos registros sobre as manutenções
2.4	Construir o formulário de auditoria sobre o pilar
2.5	Realizar acompanhamento acerca das atividades do pilar

Fonte: Autores (2022)

A partir da maior maturidade da equipe e realização de grande parte das tarefas destes dois primeiros pilares, realizou-se a aplicação dos pilares da Melhoria Específica e Educação & Treinamento, com as atividades definidas da tabela 03, mostrada a seguir:

Tabela 3 - Fase I de implantação da TPM sobre o sistema alcalinizante.

3	Melhoria específica
3.1	Realizar treinamento e aplicar a análise de árvore de falhas
3.2	Construir planilha de controle e acompanhamento das ações propostas na análise de árvore de falhas
3.3	Definir critérios de priorização de OMs
3.4	Realizar treinamento e aplicar o formulário de sugestões de melhoria
3.5	Construir planilha de controle e acompanhamento das melhorias
3.6	Criar formulário de auditoria sobre o pilar da melhoria específica
3.7	Realizar acompanhamento acerca das atividades do pilar
4	Educação e treinamento
4.1	Mapear todas as ações que os colaboradores possam/devam executar na rotina do TPM e habilidades/competências necessárias
4.2	Construir matriz de treinamento com base na autoavaliação dos funcionários
4.3	Priorizar gaps de competências
4.4	Construir plano de treinamento com base na matriz de habilidades
4.5	Criar formulário de auditoria sobre o pilar de Educação & Treinamento
4.6	Realizar acompanhamento acerca das atividades do pilar

Fonte: Autores (2022)

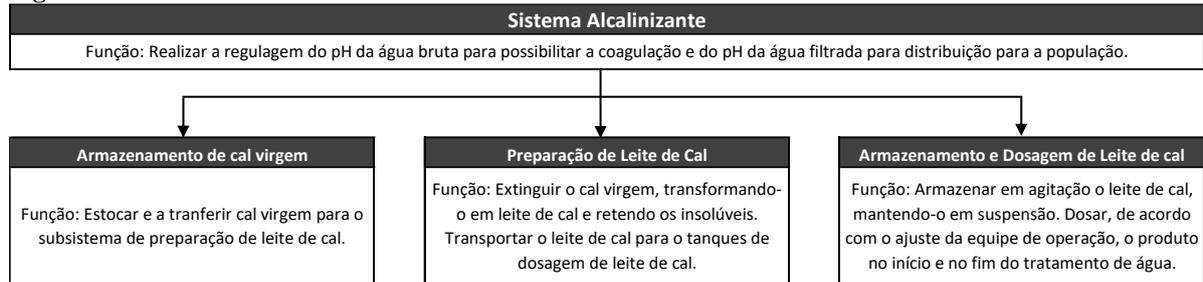
Com as lições aprendidas, resultados registrados e indicadores medidos a partir deste sistema piloto, será feita de forma gradual, no futuro, a implantação desses 4 pilares propostos em todos os outros sistemas da ETA.

5. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

5.1 ANÁLISE FUNCIONAL

Como informado anteriormente, o sistema escolhido como piloto para implantação do TPM é o sistema alcalinizante. Resumidamente, esse sistema é composto pelos subsistemas demonstrados na Fig. 1, abaixo:

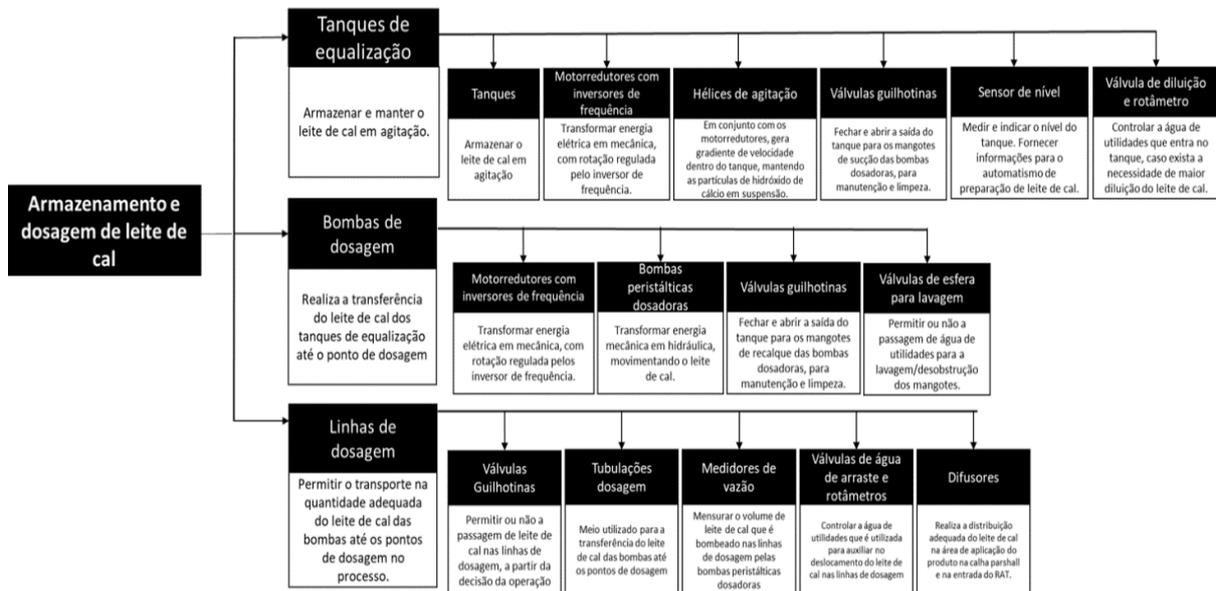
Figura 1 - Análise funcional do sistema alcalinizante e de seus subsistemas.



Fonte: Autores (2022)

Com o intuito de identificar os equipamentos que fazem parte dos 03 subsistemas acima descritos e descrever a função de cada um deles, realizaram-se as análises funcionais. Como exemplo, a análise funcional do subsistema de armazenamento e dosagem de leite de cal está apresentada na Fig. 2, a seguir:

Figura 2 - Análise funcional dos equipamentos do subsistema de armazenamento e dosagem de leite de cal.



Fonte: Autores (2022)

5.2 5S E PILAR DA MANUTENÇÃO AUTÔNOMA

5.2.1 APLICAÇÃO DO 5S COM A EXECUÇÃO DO DIA “D”

Para a implantação do 5S, primeiramente, realizou-se um levantamento da situação inicial do ambiente do sistema alcalinizante, envolvendo os operadores, mantenedores e gestores da área.

Esse levantamento foi necessário para a definição dos problemas e as oportunidades de melhoria existentes em campo, tendo como bases principais os sentidos de utilização, de organização, de limpeza e de higiene e saúde.

Além disso, o registro serviu para construir uma melhor programação sobre as atividades que foram realizadas no “dia D”, evento de lançamento do programa 5S em que é feito um mutirão para a limpeza e a organização da respectiva área. Algumas ações que ocorreram no “dia D” após o levantamento inicial podem ser verificadas na Fig. 3, abaixo:

Figura 3 – Ações executadas no dia “D”.

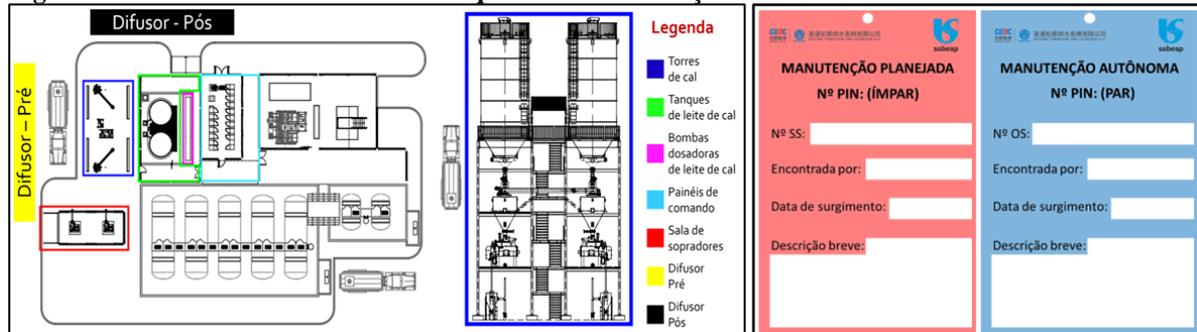


Fonte: Autores (2022).

5.2.2 QUADRO DA TPM E ETIQUETAS DE IDENTIFICAÇÃO DE ANOMALIAS

Para facilitar a identificação das áreas que compõem o sistema alcalinizante, é relevante dividi-lo em lotes, de forma que todas as pessoas envolvidas consigam entender. Essa divisão foi colocada no quadro branco da TPM que, por sua vez, foi instalado em uma das salas do setor alcalinizante. Neste quadro, desenhou-se também uma tabela para que a operação adicionasse as informações referentes as ordens de serviços da manutenção autônoma (OS) e as solicitações de serviços para a manutenção planejada (SS), geradas a partir da identificação de anomalias em campo pela equipe de operação utilizando as etiquetas criadas para tal finalidade. A divisão da área em lotes inserida no quadro da TPM e as etiquetas de identificação de anomalias estão representadas na Fig. 4:

Figura 4 – Divisão do setor em lotes e etiquetas de identificação de anomalias.



Fonte: Autores (2022).

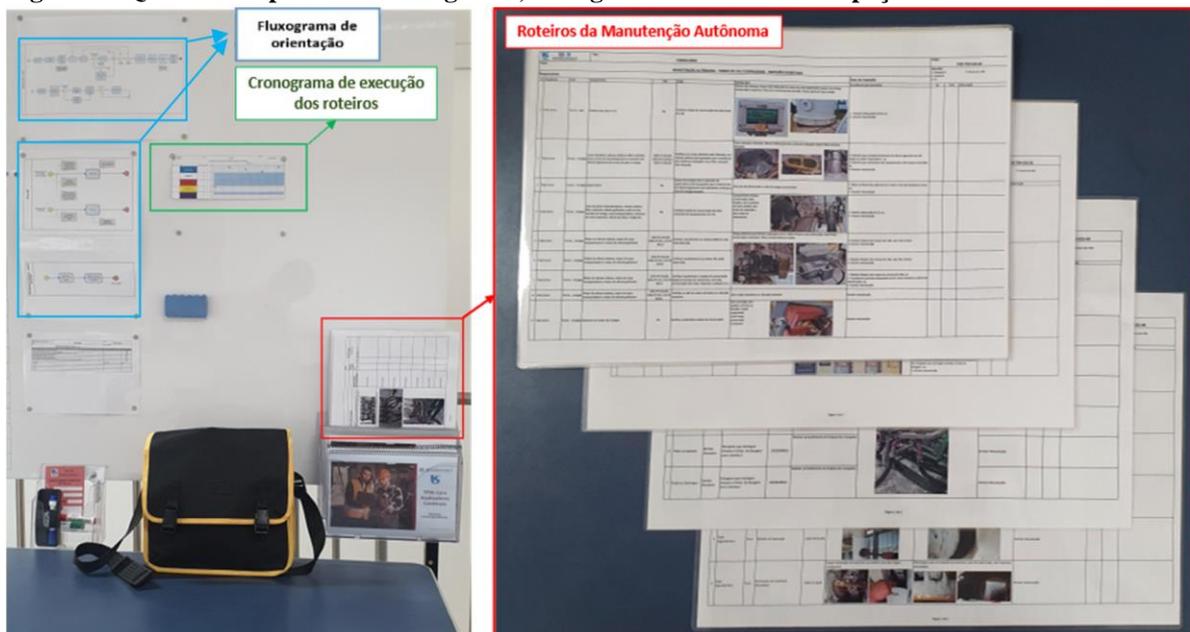
Após a atuação da manutenção autônoma ou planejada sobre a anomalia encontrada e registrada, a operação deve verificar se o problema foi de fato resolvido. Se resolvido, deve-se apagar as informações do quadro da TPM e da etiqueta utilizada, guardando-a para ser reaproveitada em outro momento. Além disso, na planilha de controle digital criada, atualiza-se o “status” da solicitação ou ordem de manutenção para concluída, adicionando a data em que ela foi finalizada.

5.2.3 CONSTRUÇÃO DOS ROTEIROS DA MANUTENÇÃO AUTÔNOMA

Os roteiros da manutenção autônoma têm como objetivo principal orientar os operadores, de forma bastante elucidativa, na execução das suas rotas de inspeção no sistema. Esses roteiros são basicamente um check-list, em que cada ação está vinculada às seguintes informações: (i) frequência de execução da ação de verificação; (ii) lote em que o equipamento está presente; (iii) TAG do equipamento; (iv) padrão ideal sobre o item que está sendo verificado; (v) providências no caso em que a operação verifique algo fora do padrão ideal indicado; (vi) campo para demarcar se o item está ou não de acordo; (vii) campo para colocar observações pertinentes do executor da rota.

A partir da análise do FMEA feito no pilar da manutenção planejada, foram realizados, no total, 5 roteiros que contemplam a limpeza interna do extintor que está em operação, limpeza dos mangotes e linhas de dosagem, inspeção sobre os pontos de dosagem (difusores) da pré e pós-alcalinização, inspeção sobre as torres de cal e inspeção das bombas e tanques de equalização. Os roteiros devem ser executados conforme orientação dada através de um fluxograma e seguindo o cronograma criado, disponibilizados no quadro de apoio da TPM, que está demonstrado na Fig. 5.

Figura 5 - Quadro de apoio com cronograma, fluxograma e roteiros de inspeção.



Fonte: Autores (2022).

5.3 PILAR DA MANUTENÇÃO PLANEJADA

Nesta etapa, realizou-se o FMEA compreendendo todos os componentes levantados na análise funcional do sistema alcalinizante, identificando os modos, efeitos e causas da falha, assim como o cálculo do RPN. A partir do RPN, foi possível identificar quais os componentes que deveriam possuir maior acompanhamento pela manutenção. Notou-se que alguns componentes identificados como críticos no FMEA nem estavam contemplados no plano de manutenção preventiva ou preditiva atual, sendo tratados em manutenções corretivas, como é o caso do exaustor do extintor de cal, mangote flexível do removedor de insolúveis e os motovibradores das moegas.

Portanto, para gerar o plano de manutenção de 52 semanas mais robusto, com o intuito de trazer zero falhas ao sistema alcalinizante, a partir do FMEA, realizou-se a alteração do plano de manutenção planejada, além da inserção de atividades específicas que devem ser executadas pela operação, conforme roteiros criados no pilar da manutenção autônoma. Como exemplo, demonstra-se na Fig. 6, o FMEA realizado de um equipamento, além da política de manutenção utilizada antes da TPM (em laranja) e as mudanças propostas no plano de manutenção planejada e a adição da atuação da manutenção autônoma (em azul) para trazer maior confiabilidade ao sistema.

Figura 6 – Extrato do FMEA incluindo a sugestão de alteração do plano de manutenção planejada e autônoma.

Equipamento	Componente	Função	Modo de Falha (como o componente pode falhar?)	Efeito da falha (resultante da falha)	Causas da Falha	Severidade	Frequência	Dano	RPN	Consequência do modo de falha	Decisão a ser tomada (diagrama de decisões)	Política de manutenção utilizada atualmente	Proposta de mudança na política de manutenção	Proposta de Manutenção Autônoma
Removedor de Insolúvel Primário e Secundário	Motorreductor	Transferir energia elétrica em mecânica, gerando movimento circular no eixo que movimentará a correia	Travamento	Sobrecarga causando o desalinhamento do motor e interrupção no funcionamento do raspador e na retirada de insolúveis.	Lubrificação deficiente da caixa do redutor/ quebra dos engrenagens internas do redutor/ desgaste dos polímeros existentes.	6	2	3	36	Oculto	Inspecção Programada	Lubrificação e substituição programada de componentes internos	Manter	Inspecção sensível (sonora).
			Trip por atuação da proteção elétrica do motor	Interrupção no funcionamento do raspador e na retirada de insolúveis.	Aumento de temperatura por aletas ou ventilação forçada sem promover a troca de calor necessária (sujeis, oxidados); Baixo isolamento, aterramento inadequado.	6	3	2	36	Segurança	Inspecção Programada			Inspecção visual sobre as aletas e sensível sobre a temperatura ventilação forçada. Possível limpeza.
	Correia	Transferir o movimento do motorreductor para o raspador	Arensamento	Interrupção no funcionamento do raspador e na retirada de insolúveis.	Desgaste natural da correia por tempo de uso. Desregulagem do tensionamento da correia.	5	3	3	45	Operacional	Substituição Programada		Manter	Inspecção visual e sensível (sonora)
	Raspador	Retirar os insolúveis presentes no sistema posteriormente à eflúvio.	Travamento	Interrupção no funcionamento do raspador e na retirada de insolúveis.	Grande acúmulo de insolúveis na região de passagem dos raspadores	5	4	4	80	Oculto	Restauração Programada		Manutenção Corretiva	Realizar "restauração programada" a partir da limpeza de insolúveis acumulados na zona inacessível para os operadores...
	Desgaste do raspador	Diminuição da eficiência na retirada de insolúveis.	Desgaste natural da correia por tempo de uso. Desregulagem do raspador promovendo o atito do raspador com a carcaça.	3	2	5	30	Oculto	Inspecção Programada	Inspecção visual e sensível (sonora). Realizar limpeza da parte acessível do raspador				
	Mangote Flexível	Direcionar os insolúveis retirados ao ponto de coleta para descarte.	Obstrução parcial ou total	Interrupção ou diminuição na retirada de insolúveis.	Incrustação de insolúveis na parede do mangote por tempo de utilização	5	8	3	120	Operacional	Restauração Programada	Manutenção Corretiva	Manter	Inspecção e limpeza do mangote flexível

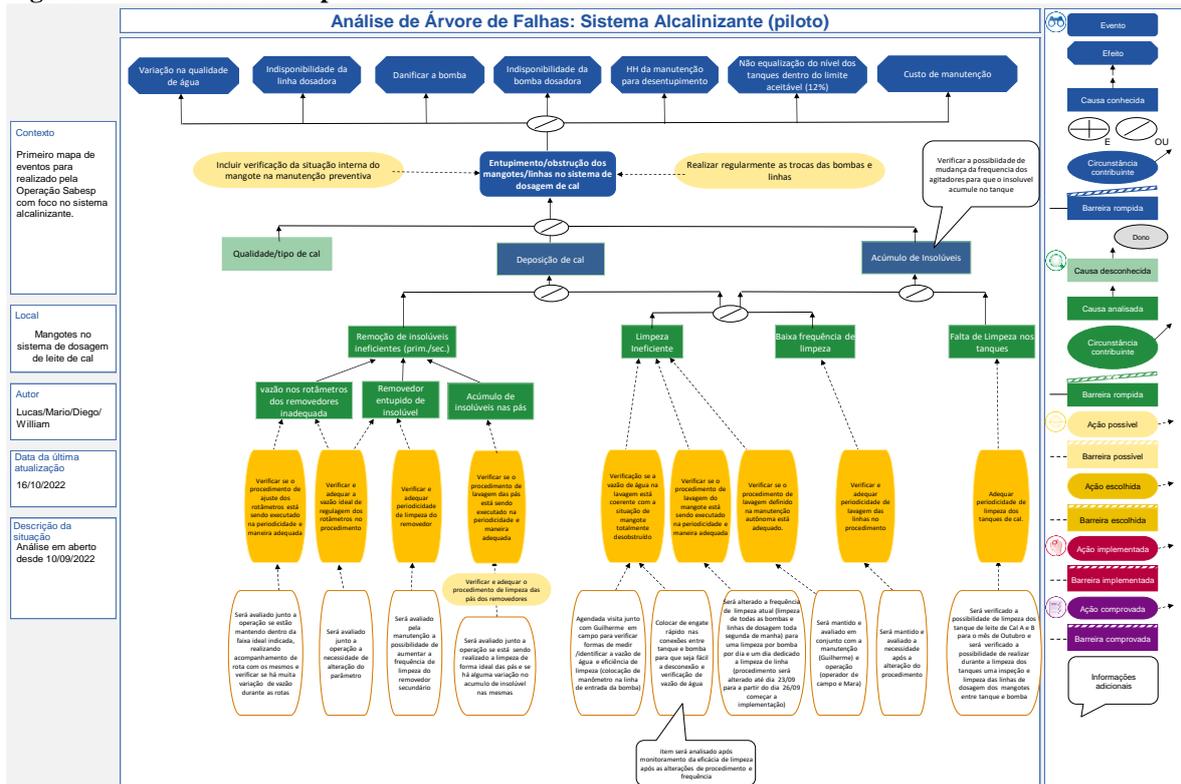
Fonte: Autores (2022).

5.4 PILAR DA MELHORIA ESPECÍFICA

Com o objetivo de reduzir os problemas e melhorar o ambiente de trabalho, implantando melhorias eficazes, a partir da participação da equipe de operação e de manutenção de forma multidisciplinar, utilizou-se a Análise de Falhas e o Formulário de Sugestões de Melhoria e criou-se planilhas de controle com as definições de ações, responsáveis e prazos.

A partir de algumas informações retiradas do FMEA e da experiência das pessoas envolvidas no processo, é possível realizar, através da Análise de Falhas, o detalhamento completo de um problema existente, informando seus possíveis efeitos, causas e, principalmente, as ações que podem ser implementadas para estudá-lo e resolvê-lo. Como piloto, optou-se por analisar o problema de entupimento/obstrução dos mangotes e linhas do sistema de dosagem de cal que tinha certa recorrência. Tal análise pode ser vista na Fig. 7.

Figura 7 – Análise de falha piloto.



Fonte: Autores (2022)

Com a utilização do formulário padronizado de sugestões, foi possível formalizar algumas melhorias identificadas pela operação e manutenção durante a realização de suas atividades. Após o seu preenchimento, a sugestão deve ser levada para os comitês de gestão e engenharia para que discutam a viabilidade de implantação. Para preenchimento do primeiro formulário, solicitou-se a participação direta de um operador, que possuía uma ideia para melhorar o problema de compactação de cal na moega e, conseqüentemente, na transferência para o dosador volumétrico e extintor de cal. O formulário preenchido está representado na Fig. 8.

Figura 8 – Formulário de Solicitação de Melhoria.

		Tipo: FORMULÁRIO	Código: FOR-TPM-0XX-01
Título: SOLICITAÇÃO DE MELHORIA			
		Nº 1	
Escopo:	Instalar dispositivo/equipamento para descompactação da cal nas moegas.		
Solicitante:	<input type="text"/>		
Instalação:	ETA	Sistema:	Sistema Alcalinizante
Subsistema:	Armazenamento de Cal Virgem	Melhoria em:	
Equip.:	Moegas das Torres A e B	<input type="text"/> Qualidade	
Justificativa: Mesmo com os motovibradores externos em funcionamento, em virtude da compactação ou umidade da cal, existem vezes ela trava na moega, impedindo sua passagem para a rosca dosadora e, conseqüentemente, para o extintor.			
Efeito de não implementar a mudança: Diminuição indesejada da concentração do leite de cal, necessidade de intervenção (batidas com martelo de borracha) externamente à moega e, caso não resolvido, aumento da frequência das bombas para compensar a menor concentração e possíveis desvios no tratamento.			
Impactos da mudança: Concentração mais constante da cal, necessidade de menos intervenção manual, maior segurança no tratamento da água.			
Economia esperada (se houver)		<input type="text"/> N/A /ano	
Data: <input type="text"/> 10/09/2022			
Descrição da situação atual (válido incluir foto/esboço/diagrama): Atualmente a operação deve realizar frequentemente batidas com martelo de borracha externamente a moega para promover a queda da cal da moega para a rosca dosadora, evitando a diluição/queda de concentração do leite de cal. Isso ocorre mesmo com o funcionamento adequado do motovibrador externo.			
Descrição da situação futura (válido incluir foto/esboço/diagrama): Instalar dispositivo interno à moega para promover sua movimentação e descompactação. Em conversa com a manutenção, seria interessante testar um motovibrador interno (a ser instalado na torre A para testes) ou uma haste que fosse capaz de mexer internamente (a ser instalado na torre B para testes). Após testes com tais dispositivos, a manutenção iria realizar a instalação definitiva, com adequações na automação para que eles fossem operados automaticamente em intervalos de tempos setados.			

Fonte: Autores (2022)

5.5 PILAR DE EDUCAÇÃO & TREINAMENTO

No pilar de Educação & Treinamento, primeiramente realizou-se um levantamento sobre todas as atividades relevantes para que os operadores da Sabesp fossem capazes de fazer todas as manobras e operações necessárias sobre o sistema alcalinizante.

A partir da avaliação do comitê de gestão, facilitadores e coordenador geral da TPM, foi definido os operadores das cinco equipes de operação que possuíam boa capacidade sobre as atividades listadas e, principalmente, didática e disposição para ensinar os demais sobre elas. Esses operadores foram treinados sobre os roteiros da manutenção autônoma e nomeados como multiplicadores da TPM sobre o sistema alcalinizante.

Em seguida, duas matrizes de capacitação foram realizadas, sendo uma delas de habilidades esperadas e a outra de habilidades atuais (autoavaliação) levando em consideração os níveis definidos na Tab. 4. A partir das diferenças entre as habilidades esperadas e as atuais, definiu-se um plano de ação determinando os treinamentos necessários para cada operador.

Tabela 4 - Definições de níveis das matrizes de capacitação.

Níveis	INICIANTE	APRENDIZ	EXECUTOR	MENTOR
	 Nível 1	 Nível 2	 Nível 3	 Nível 4
Requisitos:	Requer muito acompanhamento e direcionamento Produtividade = baixa	Requer direcionamento, mas consegue desempenhar a maioria das tarefas sem constante supervisão ou acompanhamento Produtividade = ~85%	Desempenha todas as tarefas sem necessidade de auxílio. Habilidade básica de resolução de problemas Produtividade = 100%	Consegue desempenhar setups básicos, solucionar problemas e disseminar os conhecimentos para outros operadores Produtividade = 100%

Fonte: Autores (2022)

Além disso, aproveitando-se da alta competência da operação em executar as atividades listadas, solicitou-se que cada equipe fizesse os procedimentos “passo-a-passo” que as descreviam. Dessa forma, todos teriam a experiência de construir um procedimento, com o intuito de padronizar e disseminar as habilidades exigidas para operar o sistema alcalinizante.

Após finalizar as capacitações das habilidades necessárias levantadas anteriormente, com a intenção de integrar ainda mais os profissionais de ambas as empresas desta PPP (Sabesp e SPSL S.A.) e desenvolver o conhecimento de todos, planeja-se que alguns treinamentos sejam ministrados por profissionais internos, de mantenedores para operadores e vice-versa, principalmente quando a TPM for aplicada sobre outros subsistemas da ETA.

5.6 AUDITORIAS DOS PILARES DA TPM APLICADOS

Com o objetivo de confirmar se todas as atividades de cada um dos 4 pilares estavam sendo realizadas e registradas corretamente e conforme cronogramas, mantendo o engajamento de toda a equipe, os gestores foram incumbidos de realizarem auditorias periódicas com alguns requisitos mínimos a serem verificados. Como exemplo, a Fig. 9 representa o extrato de um formulário de auditoria sobre o pilar da Manutenção Autônoma.

Figura 9 – Formulário de auditoria sobre o pilar da manutenção planejada.

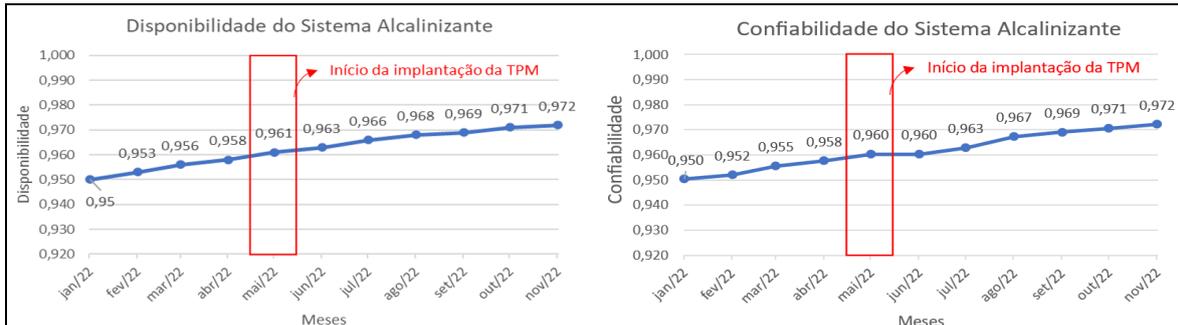
		Tipo:	Código:	
Título:		FORMULÁRIO	FOR-TPM-012-01	
AUDITORIA MANUTENÇÃO AUTÔNOMA - TPM			Mês de referência: XX/2022	
###	Tópico abordado	Resposta	Tipo de resposta	
001	O cronograma do quadro de gestão está atualizado?	Sim	S/N	
002	Os roteiros de manutenção autônoma estão sendo executados?	Sim	S/N	
003	As anomalias de cunho de manutenção planejada identificadas estão sendo registradas como Ss?	Sim	S/N	
004	Analisar uma amostra de Ss. Serviço foi executado?	Sim	S/N	
005	Quantas Ss foram geradas no último mês?	22	Nº	
006	Quantas Ss foram atendidas no último mês?	17	Nº	
007	Quantas Ss do último mês ficaram pendentes?	5	Nº	
008	Acompanhar 1 rota de inspeção autônoma. Qualidade do serviço atende aos requisitos operacionais da TPM?	Sim	S/N	
###	Ação	Responsável	Prazo	
1	Nenhuma ação pendente	-	-	
2				
3				
4				
5				
6				

Fonte: Autores (2022)

5.7 RESULTADOS NOS INDICADORES DE MANUTENÇÃO

Monitorando o MTBF e MTTR dos equipamentos e realizando o cálculo da associação dos equipamentos do sistema alcalinizante para os indicadores de disponibilidade e confiabilidade, obteve-se os resultados demonstrados na Fig. 10.

Figura 10 – Gráficos de tendência dos indicadores de confiabilidade e disponibilidade do sistema alcalinizante.

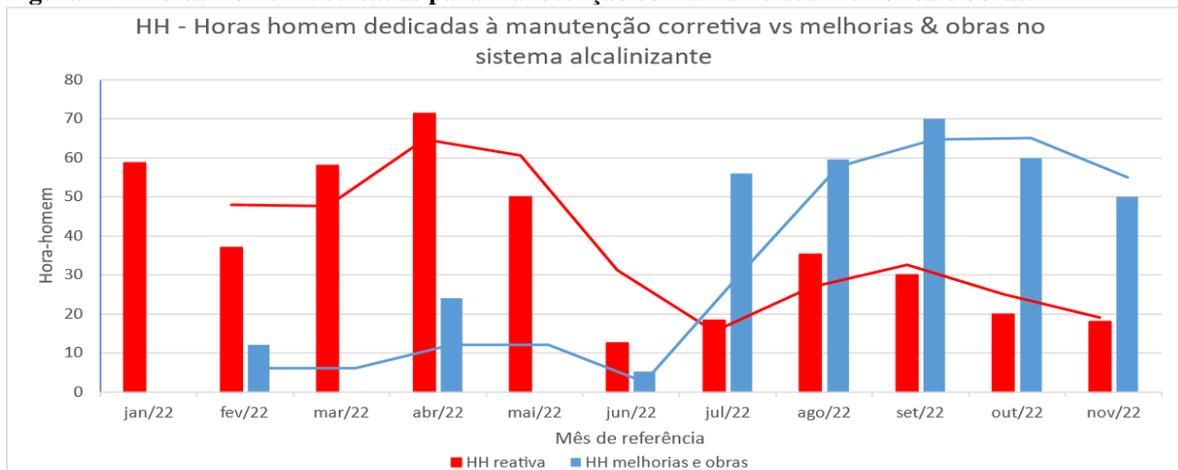


Fonte: Autores (2022).

Nota-se que os indicadores já se apresentavam em bons níveis antes mesmo da aplicação da TPM, principalmente pela presença de equipamentos reservas, tempo médio de reparo baixo pela atuação rápida da equipe de manutenção e tempo médio alto entre as falhas dos equipamentos. No entanto, esses níveis de confiabilidade e disponibilidade continuaram subindo após a implementação realizada.

Interessante observar também que, a partir do mês de julho de 2022, as horas-homem reativas passaram a ser menores do que as horas-homem utilizadas para a aplicação de melhorias e obras no sistema, como mostrado na Fig. 11. Acredita-se que necessidade de manutenções corretiva diminuiu principalmente pelos serviços executados pela manutenção autônoma e a demanda por serviços de melhoria aumentou em virtude de todas as sugestões realizadas durante a aplicação dos pilares da TPM.

Figura 11 - Horas-homem dedicadas para manutenção corretiva versus melhorias e obras.



Fonte: Autores (2022).

6. CONCLUSÃO

A Manutenção Produtiva Total se mostrou, no desenvolvimento deste trabalho, uma metodologia muito efetiva para integralização das equipes da manutenção e operação, mesmo elas sendo de empresas diferentes que fazem parte de uma parceria público-privada, como a do Sistema Produtor São Lourenço, e são compostas por pessoas que possuem experiências de trabalho e capacitações bastante distintas.

Ao participar integralmente da implantação da TPM neste sistema piloto, foi interessante notar como a equipe multidisciplinar formada foi capaz de elevar o nível do ambiente de trabalho existente, promovendo a cooperação, melhorando a organização, limpeza, segurança, identificação e a padronização da área.

A equipe de operação se tornou muito mais atuante sobre os equipamentos em prol do funcionamento do sistema, entendendo a relevância e a função de cada um de seus componentes e como eles deveriam se

comportar em estado normal ou avariado, fazendo os devidos ajustes no processo, inspeções e limpezas ou então solicitando atuação da manutenção de maneira mais assertiva e anterior à falha.

A equipe de manutenção pode compreender um pouco mais sobre o processo de tratamento e o papel que cada equipamento possui para manter a qualidade e a quantidade de água tratada produzida conforme a legislação e a demanda.

As tratativas sobre as principais falhas que ocorriam sobre o sistema alcalinizante se tornaram mais efetivas ao utilizar o FMEA e a Análise de Falhas como ferramentas, facilitando, inclusive, o acompanhamento mais contínuo sobre o andamento das ações propostas.

Com o FMEA, foi possível identificar algumas mudanças relevantes no plano de manutenção que, com o auxílio do trabalho da manutenção autônoma, diminuiram o tempo requisitado de manutenção corretivas, fornecendo disponibilidade de tempo para implementação de melhorias.

Felizmente, apesar da quantidade de documentação criada, não houve dificuldades na implementação dos quatro pilares da TPM, visto que todos as pessoas, de todos os níveis hierárquicos, estavam empenhadas em implantá-los.

Para trabalhos futuros, propõe-se a continuação da implantação dos primeiros quatro pilares da TPM nos demais sistemas da planta para posteriormente iniciar a implantação dos próximos 4 pilares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Carrijo, J. R. S.; Lima, C. R. C. L. Disseminação TPM – Manutenção Produtiva Total nas indústrias brasileiras e no mundo: uma abordagem construtiva. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, 2008.
2. Kardec, A.; Nascif J. Manutenção: função estratégica. 4ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2012
3. Ribeiro, A. Manutenção Produtiva Total. A Bíblia do TPM. 1ª edição. Editora Viena, 2014.
4. SÃO PAULO (Estado). Plataforma Digital de Parcerias. Contrato assinado PPP do Sistema Produtor São Lourenço. Disponível em <http://www.parcerias.sp.gov.br/Parcerias/Projetos/Detalhes/115>. Acesso em 20/05/2023.
5. Yamaguchi, C. T. TPM – Manutenção Produtiva Total. São Paulo Del Rei: ICAP, 2005