

APLICAÇÃO DE MCC PARA MELHORIA CONTÍNUA DA DISPONIBILIDADE E CONFIABILIDADE DOS INVERSORES DE FREQUÊNCIA DE UMA PLANTA DE MINERAÇÃO DE NÍQUEL

Wellington Gorrera Britto Fernandes ⁽¹⁾ (wellington.fernandes@fusionengenharia.com), Alessandro Rodrigues Faria ⁽²⁾ (alessandrorfaria@hotmail.com), Hermes Dias Godinho ⁽³⁾ (hermes@iesae.com.br)

⁽¹⁾ Instituto de Ensino Superior Albert Einstein (IESAE); MBA Engenharia de Manutenção e Gestão de Operações Industriais

⁽²⁾ Instituto de Ensino Superior Albert Einstein (IESAE); MBA Engenharia de Manutenção e Gestão de Operações Industriais

⁽³⁾ Instituto de Ensino Superior Albert Einstein (IESAE); MBA Engenharia de Manutenção e Gestão de Operações Industriais

RESUMO: *O ambiente agressivo de exposição à poeira e calor nas empresas de mineração, e em alguns casos uma poeira condutiva (minério de níquel, ferro, etc.), gera um fator para os altos índices de falhas em inversores de frequência, diminuindo significativamente a disponibilidade operacional dos equipamentos. Neste trabalho apresentam-se estratégias a partir dos serviços de contrato de manutenção com as ações implantadas com foco no MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade), através da ferramenta do PDCA (Plan, Do, Check, Act) para aumentar a disponibilidade operacional e a confiabilidade dos equipamentos em todos os acionamentos elétricos (inversores de frequência) críticos em uma empresa de Mineração de Níquel. Foram aplicadas técnicas e ações do PDCA em busca das metas traçadas e melhora da performance operacional e confiabilidade dos equipamentos. Após a fase de análise, obteve-se resultados de aumento no MTBF (Tempo Médio entre Falhas) nos acionamentos elétricos de 111% em comparação com as médias dos anos de 2020 a 2023, em relação ao ano de 2016, e diminuição do MTTR (Tempo Médio para Reparo) nos acionamentos das pontes rolantes do Refino, com redução de 71,5%, e assim, as ações principais foram padronizadas e implantadas sistematicamente para dar continuidade ao decorrer dos próximos anos.*

Palavras-chave: MCC; PDCA; Manutenção; Confiabilidade; Mineração.

APPLICATION OF MCC FOR CONTINUOUS IMPROVEMENT OF THE AVAILABILITY AND RELIABILITY OF FREQUENCY INVERTERS IN A NICKEL MINING PLANT

ABSTRACT: *The aggressive environment of exposure to dust and heat in mining companies, and in some cases conductive dust (nickel ore, iron, etc.), generates a factor for high failure rates in frequency inverters, significantly reducing availability operational equipment. In this work we present strategies based on maintenance contract services with actions implemented with a focus on MCC (Reliability Centralized Maintenance), through the PDCA tool (Plan, Do, Check, Act) to increase operational availability and reliability of equipment in all critical electrical actions (frequency inverters) in a Nickel Mining company. PDCA techniques and actions were applied in pursuit of the goals set and improving the operational performance and reliability of the equipment. After the analysis phase, we obtained results of an increase in MTBF (Mean Time Between Failures) in electrical drives of 111% compared to the averages for the years 2020 to 2023, in relation to the year 2016, and MTTR (Time Medium for Repair) in the drives of the Refining cranes, with a reduction of 71.5%, and thus, the main actions were standardized and systematically implemented to continue over the coming years.*

Keywords: MCC; PDCA; Maintenance; Reliability; Mining.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Mascheroni (2005), um acionamento elétrico é um sistema capaz de converter energia elétrica em energia mecânica (movimento), mantendo esse processo de conversão de forma controlada. De forma geral, um acionamento elétrico é composto por: motor elétrico, dispositivo eletrônico de acionamento, e por último, uma transmissão mecânica. Os acionamentos elétricos são muito comuns dentro do âmbito industrial, e normalmente utilizados para acionar máquinas ou equipamentos que requerem algum tipo de controle, como por exemplo, a velocidade de um motor elétrico para controle de vazão de uma bomba.

Dentro do conjunto de acionamento elétrico, os dispositivos eletrônicos são conhecidos como “inversores de frequência”, e proporcionam entre tantos ganhos, algumas vantagens: economia de energia, melhora no desempenho de máquinas e equipamentos devido a adaptação e variação de velocidade aos processos, aumento de vida útil do motor elétrico devido a diminuição do pico de corrente de partida, entre outros (Mascheroni, 2005). Neste trabalho, o termo “acionamento elétrico”, foi usado sempre em referência aos inversores de frequência. Por se tratarem de dispositivos eletrônicos, possuem partes sensíveis que ficam comprometidas com exposição à poeira, principalmente poeira com teor de minério, que a torna condutiva em certas ocasiões, sem deixar de mencionar também, exposição à altas temperaturas. Por este motivo, há diversas recomendações de instalação, e manutenção preventiva periódica nos manuais dos fabricantes.

O ambiente agressivo de exposição de poeira nas empresas de mineração, e em alguns casos uma poeira condutiva (minério de níquel, ferro, etc.), deu-se como um fator identificado para os altos índices de falhas em inversores de frequência desde o início do startup operacional da empresa, em 2011. Apesar de haver controle de projeção de poeira na empresa visando principalmente a segurança e saúde dos colaboradores, nas áreas operacionais há grande projeção de poeira gerado pelo processo, e por conta das condições de instalação de algumas posições dos inversores, como por exemplo nas pontes rolantes que são instalados em painéis elétricos locais sem vedação eficaz, sem acesso à uma sala elétrica, comprometendo a funcionalidade dos acionamentos elétricos. Estas falhas diminuam significativamente a disponibilidade operacional dos equipamentos, havendo assim, a necessidade de um plano de ação a fim de aumentar a confiabilidade dos mesmos, e consequentemente, a disponibilidade operacional da empresa.

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é apresentar estratégias a partir dos serviços de contrato de manutenção com as ações implantadas através da ferramenta do PDCA (Plan, Do, Check, Act) para aumentar a disponibilidade operacional e a confiabilidade dos equipamentos em todos os acionamentos elétricos (inversores de frequência) críticos em uma empresa de Mineração de Níquel.

Com isso, foi necessária uma parceria de um contrato de manutenção e gestão aos acionamentos elétricos a partir de 2013. “Gerenciar é estabelecer novos padrões, modificar os padrões existentes ou cumpri-los. A padronização é o cerne do gerenciamento” (CAMPOS, 2004). Por se tratar de um trabalho contínuo, porém com algumas interrupções por conta de término e negociação de renovação de contrato, mas que perdura por um período maior a 10 anos, serão apresentadas as ações principais de maiores impactos e resultados.

1.2 Justificativas

Portanto, as ações propostas com a implantação do PDCA de forma estratégica para aumentar a disponibilidade operacional da empresa são de extrema importância, pois conferem à Manutenção uma performance satisfatória que visa manter os ativos dentro dos padrões de confiabilidade, com foco na qualidade e na segurança de pessoas e dos ativos, de maneira a agregar valor aos resultados do processo produtivo.

1.3 Fundamentação Teórica

O MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade) ou do inglês, RCM (Reliability-Centered Maintenance) é um método utilizado para determinar os requisitos de manutenção de um item físico ou seu contexto operacional, ou seja, determina através de um estudo as diversas formas que um componente possa vir apresentar falha, visando ações que impeçam sua falha através de ações de manutenção a serem adotadas aos ativos fixos que compõe uma planta operacional (Viana, 2020).

Entre as ferramentas e estratégias adotadas para o método MCC, encontra-se o PDCA. Segundo Selva (2010), o PDCA trata-se basicamente de um método utilizado para alcançar, manter e melhorar resultados dentro de um sistema de gestão, através da identificação dos principais problemas que podem estar impedindo esses resultados de serem alcançados e como esses problemas podem ser resolvidos. PDCA é uma sigla em inglês, que traça as etapas, com as seguintes palavras: Plan, Do, Check e Action, que significa no português, Planejar, Fazer, Verificar e Agir (Oliveira, 2022).

Através das ações do PDCA nos acionamentos elétricos, este trabalho buscará a melhoria contínua em índices como: o aumento do MTBF, redução do MTTR e a redução de tempo de indisponibilidade do ativo reserva.

Viana (2021) descreve estes índices ao informar que o MTBF (Mean Time Between Failures), em tradução livre para o português, Tempo Médio Entre Falhas (TMEF), é definido como a divisão da soma das horas disponíveis do equipamento, considerando apenas tempos corretivos pelo somatório de eventos de intervenções corretivas em um equipamento no período. Em relação ao MTTR (Main Time To Repair), em tradução livre, Tempo Médio de Reparo (TMR), é dado como sendo a divisão entre a soma de tempo de indisponibilidade para a operação devido as horas de manutenção corretiva, pelo somatório de eventos de intervenções corretivas no período.

Em relação ao tempo de indisponibilidade do ativo reserva, a NBR-5462 de 1994, no seu item 2.2.5, cita o conceito de disponibilidade como sendo a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados. Viana (2020) explana que o risco da falha está associado à confiabilidade do ativo, ou seja, a necessidade de se manter o ativo reserva em maior tempo de disponibilidade operacional, por não haver plano de manutenção vigente aos equipamentos, é de suma importância devido haver uma probabilidade maior de ocorrência de falha no ativo em operação.

Carazas (2011) expressa essa preocupação através da Equação 1:

$$\text{Risco} = (\text{Probabilidade de falha} \times \text{Consequência da falha}) \quad (1)$$

Desta forma, tem-se o conceito da matriz de risco, que busca mensurar e calcular a gravidade do risco por conta do tempo de indisponibilidade do ativo reserva estar apto para executar as funções operacionais. Esta avaliação, como o nome sugere, investiga as probabilidades e os impactos de um risco que venha a ocorrer tem sobre cada objetivo do projeto. Estas informações são necessárias para a construção da Matriz de Probabilidade e Impacto ou, Matriz de Criticidade (Domingues, 2008). “A Matriz de Criticidade é um meio visual para identificar e comparar os modos de falha para todos os componentes dentro de um determinado sistema ou subsistema, avaliando-se através da relação da probabilidade de ocorrência com a severidade” (HEADQUARTERS, 2006 apud BARAN, 2011).

De acordo com Silva (2017) a melhoria contínua se tornou parte fundamental dentro dos processos industriais com objetivos de reduzir perdas e prejuízos por indisponibilidade operacional, aumento da qualidade e confiabilidade, e melhor desempenho de todo o processo. Por esse motivo, faz-se indispensável buscar a melhor performance dos equipamentos para que venham a apresentar os melhores resultados possíveis, ou seja, maior índice de disponibilidade do equipamento, e conseqüentemente, maior disponibilidade operacional de um processo operacional. A busca pela maior confiabilidade dos equipamentos é a requerimento primordial para excelência da manutenção, pois a confiabilidade é a probabilidade de um produto ou serviço operar corretamente e desempenhar satisfatoriamente a função requerida durante um especificado período de tempo sob condições de operação estabelecida sem que apresente falhas (Tortorella, 2008).

De acordo com Campos (2004), “melhorar continuamente um processo significa melhorar continuamente os seus padrões”.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado mediante a fundamentação teórica a respeito do tema, e estudo de caso de aplicação do método PDCA nos equipamentos (acionamentos elétricos) numa empresa de mineração, com base e simultaneamente a um contrato de manutenção em vigor desde 2013, sendo necessário levantamento de dados do histórico dos trabalhos já realizados.

Os trabalhos de manutenção aos acionamentos elétricos surgiram em 2013 a partir da necessidade da empresa em melhorar a performance destes equipamentos. Inicialmente, o contrato visava atuar nas constantes falhas, mas ao passar dos anos, começou-se a trabalhar na preventiva destas falhas. Com a utilização da ferramenta de melhoria contínua PDCA, foi elaborado um plano com diversas ações, a fim de alcançar o aumento da disponibilidade operacional dos equipamentos e das áreas com os acionamentos elétricos. As ações principais em busca deste objetivo foram:

- a. Gerar plano de ação para diminuir o risco de paradas indesejadas por tempo de indisponibilidade de ativo reserva;
- b. Gerar plano de ação para diminuir tempo de reparo das falhas e atividades acima de 10 horas de manutenção (diminuir MTTR);
- c. Gerar plano de ação para diminuir índice de falhas nos acionamentos elétricos da planta (aumentar MTBF);

2.1 Planejamento do Projeto PDCA

Todo o planejamento do projeto foi elaborado com o intuito de aumentar a disponibilidade operacional dos acionamentos elétricos da empresa com base no ciclo PDCA, como mostra a metodologia na Tabela 1, com a finalidade de atingir os objetivos propostos, com as seguintes fases:

- **P – Planejamento:** Identificar os problemas potenciais e principais, medir e estabelecer metas de melhorias, e planejar maneiras de alcançar tais metas;
- **D – Execução:** Realizar as tarefas do plano de ação conforme planejado e coletar os dados para verificação do processo;
- **C – Verificação:** Comparar os dados coletados durante a execução com as metas traçadas;
- **A – Ação:** Realizar correções caso as metas não sejam atingidas, de modo a melhorar o processo para obtenção da meta, e caso esteja dentro do planejado, padronizar para manter a melhoria permanente ao longo do tempo.

TABELA 1. Ciclo PDCA.

P Plan Planejar	1	Identificação do Problema ou Oportunidade de Melhoria
	2	Observação – é o momento da investigação de maiores detalhes sobre a situação estudada.
	3	Análise – é a descoberta das causas potenciais e fundamentais do problema.
	4	Plano de Ação – é o conjunto de ações necessárias para eliminar as causas do problema.
D Do (Executar)	5	Execução – agir exatamente como foi definido no plano de ação.
C Check Checar	6	Checar – Avaliar se os resultados obtidos foram condizentes com a meta estabelecida.
	*	Decisão Se os resultados estão OK – seguir para o passo 7 Se os resultados não estão OK – voltar para o passo 2.
A Action Agir	7	Padronização – estabelecer um padrão a ser seguido.
	8	Conclusão – momento de reflexão sobre os resultados

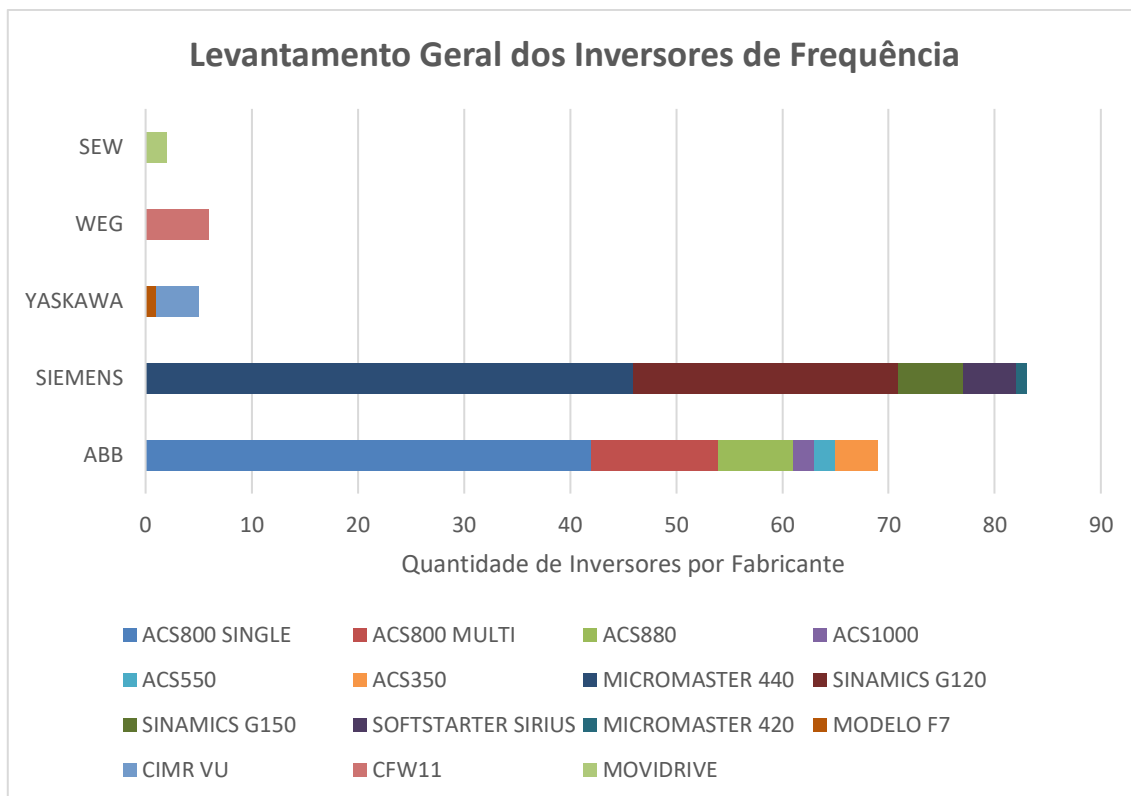
Fonte: Godinho e Brito (2007).

2.2 Identificação dos Problemas Potenciais

Para aumentar a confiabilidade dos acionamentos elétricos, foi realizado estudo das análises de falhas, e implementação de PDCA aos poucos, e ao longo dos anos de contrato de acordo com a necessidade e foco de cada época, tendo início em 2013. Inicialmente foi definido os problemas principais nos acionamentos elétricos, e ações iniciais, sendo estas ampliadas e ajustadas com o tempo para atender as melhores condições em busca dos resultados. Este projeto foi implantado entre os anos de 2013 à 2017, e aplicados simultaneamente aos trabalhos realizados, visando a maior confiabilidade dos equipamentos.

Inicialmente foi realizado o levantamento da base instalada e o histórico de falhas que se havia até o momento. No levantamento foi constatado um total de 165 inversores, de 5 fabricantes diferentes, e 15 modelos (famílias) diferentes, conforme Figura 1. Essa variação de modelos e fabricantes, evidencia a complexidade em relação ao tempo do trabalho, e as ações necessárias e traçadas individualmente durante o projeto.

FIGURA 1. Levantamento Geral dos Inversores de Frequência.



Fonte: Autor (2014).

2.2.1 Risco por Tempo de Indisponibilidade de Ativo Reserva

Durante o estudo de aplicação do método MCC, verificado que diversas aplicações da base instalada, principalmente as de grande porte (acima de 200 KW), tinham alto índice de risco de ocorrer grandes perdas por indisponibilidade operacional, por não possuir ativo reserva suficiente para a base instalada, e também, pela indisponibilidade funcional do ativo (inversor de frequência) por longo tempo por estar em processo de reparo externo.

Ao calcular o histórico dos processos de reparo externo dos equipamentos nos seus respectivos fabricantes, verificado que a indisponibilidade destes equipamentos para a planta era em média de 6 meses (180 dias), gerando assim, um alto risco para a planta operacional.

Foi elaborada a matriz de risco, como mostra a Tabela 2, levando-se em consideração o histórico de falhas para prever a probabilidade de novas falhas, e assim, identificado o “risco extremo” de falha no período de indisponibilidade do ativo reserva (em média de 6 meses), para as aplicações das pontes rolantes, onde houve uma incidência maior de ocorrências por conta do ambiente mais agressivo, com painéis elétricos locais com baixa eficiência de vedação, estando a maior exposição à poeira condutiva e calor gerado pelo processo das painéis de metais quentes.

TABELA 2. Matriz de Risco.

Possibilidade X Consequência		Probabilidade				
		1 Raro	2 Improvável	3 Possível	4 Provável	5 Quase Certo
Consequência	1 Insignificante					
	2 Menor					
	3 Moderado					
	4 Maior				RISCO EXTREMO	
	5 Catastrófico					

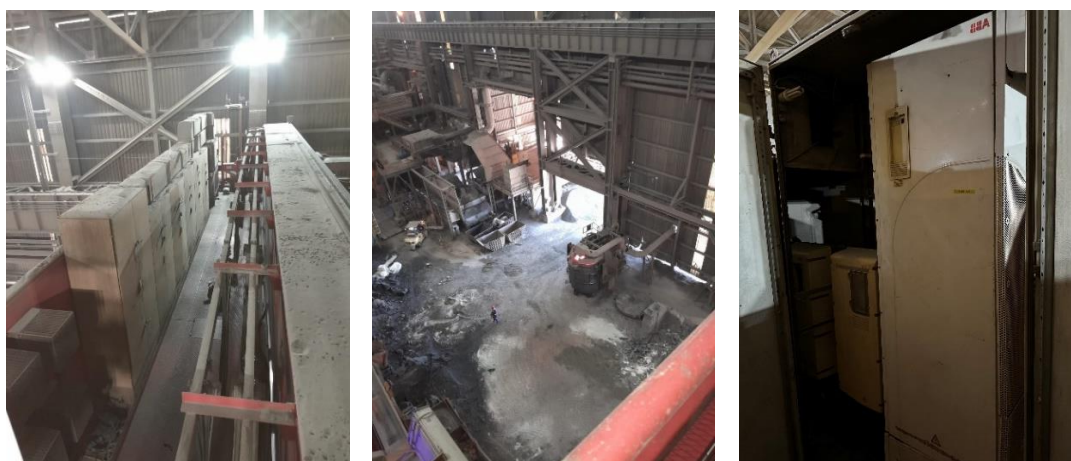
Fonte: Autor (2016).

2.2.2 Tempo de Reparo – Alto MTTR

Foi realizado o levantamento do histórico das falhas ocorridas no ano de 2013 a 2014, analisado os tipos de falhas, as atividades de reparo e os tempos de manutenção. Verificado que ocorreram duas falhas com o tempo de reparo do equipamento elevado (acima de 10 horas conforme definido). Ambas as falhas apresentaram o tempo de reparo com média de 14 horas, sendo a mesma: substituição do inversor da Elevação 130 t das pontes rolantes da área do Refino.

Na empresa há duas pontes rolantes na área do Refino, para atendimento operacional simultaneamente. Nestas pontes rolantes a aplicação da elevação 130 t é a instalação de maior porte e mais utilizada, possuindo um inversor de frequência de 250 KW de potência, e peso de 210 Kg. As pontes rolantes se caracterizam por serem áreas de difícil manutenção, pois possui acesso estreito entre os painéis elétricos e a área de transição, estar em área suspensa em torno de 25 metros de altura, e por não prever um mecanismo para retirada dos inversores, sendo essa troca feita através de esforço manual, que dificultava e gerava os longos tempos de manutenção desta atividade.

FIGURA 2. Instalação do Inversor de Frequência da Elevação 130 t das Pontes Rolantes do Refino.



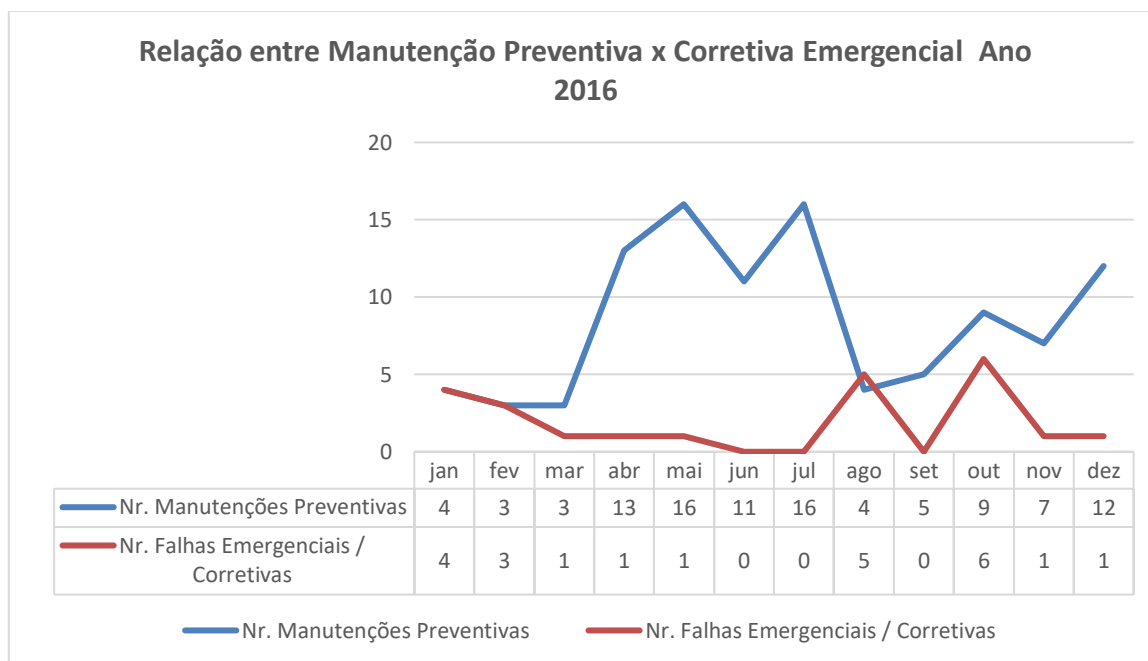
Fonte: Autor (2013).

2.2.3 Número e Intervalo de Falhas – Baixo MTBF

Durante as atividades, buscou-se identificar a maior causa relacionada ao número de falhas em inversores de frequência, sem depender do tempo de manutenção e/ou reparo, e quais as relações entre as falhas, por tipo e/ou áreas, suas principais causas, entre outros dados, para traçar as ações e os planos de ação e manutenção.

Utilizado como base de dados, o histórico de falhas no ano de 2016, que era o mais recente até aquele momento. De acordo com os dados levantados, houve 23 atendimentos emergenciais em acionamentos elétricos neste ano, determinando um baixo MTBF (conforme definido), sendo em torno de um intervalo de tempo de 16 dias entre falhas. Foi observado que os períodos em que houve um número maior de falhas ocorreu justamente em um período em que houve um número menor de manutenções preventivas, ou seja, observa-se uma relação direta e inversamente proporcional entre manutenção preventiva x falhas emergenciais, como mostra a Figura 3.

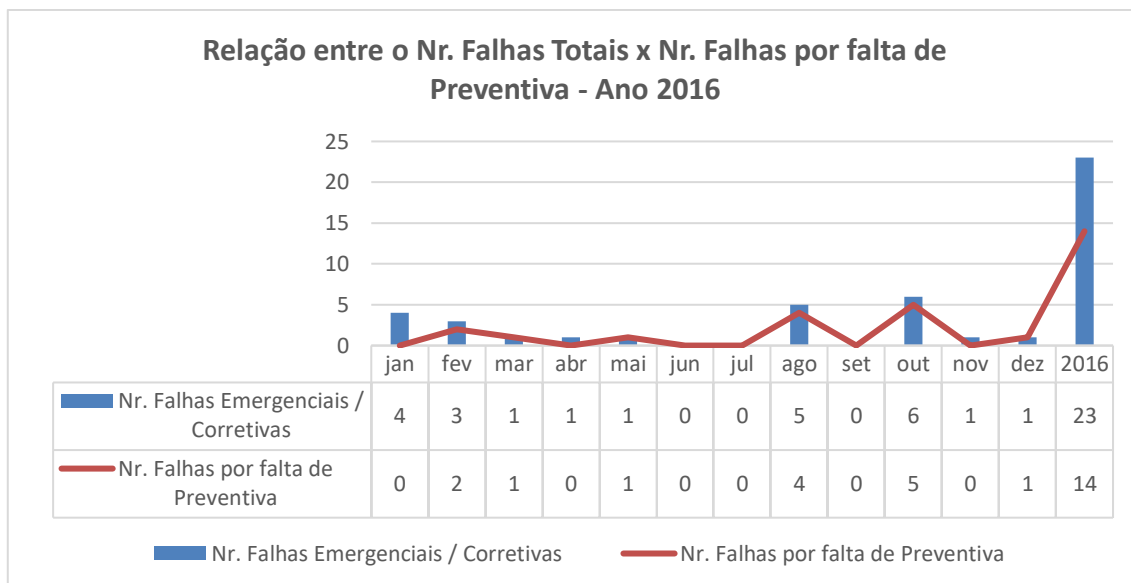
FIGURA 3. Relação entre Manutenção Preventiva x Corretiva.



Fonte: Autor (2016).

Ao analisar os dados das falhas mais detalhadamente, foi verificado que 61% das falhas nos acionamentos elétricos foi causado por falta de manutenção preventiva ou final de vida útil de algum componente, algo que também está relacionado à falta de manutenção preventiva no equipamento. A vida útil dos componentes é afetada pela condição de instalação e forte exposição a poeira condutiva, e a falta de manutenção periódica sistemática para tratar essa condição, como pode observar na Figura 4.

FIGURA 4. Relação entre falhas totais x falhas por falta de preventiva.



Fonte: Autor (2016).

Assim, por essas análises, foi observado que a falta de um plano de manutenção preventiva sistemática periódica nos acionamentos elétricos colabora diretamente para um alto número de falhas e indisponibilidade operacional, devido ao ambiente em uma empresa de mineração.

2.3 Metas

Com base nos levantamentos realizados durante a análise dos problemas principais, chegou-se a três ações principais sugeridas, e foram traçadas as seguintes metas conforme Tabela 3.

TABELA 3. Metas.

AÇÃO	VALOR ATUAL	META
a. Gerar plano de ação para diminuir o risco de paradas indesejadas por tempo de indisponibilidade de ativo reserva (Gestão de ativos)	Equipamentos em reparo externo indisponível em média por 180 dias (6 meses)	Reduzir a indisponibilidade do equipamento reserva em 75% (máximo 45 dias)
b. Gerar plano de ação para diminuir tempo de reparo das falhas e atividades acima de 10 horas de manutenção (diminuir MTTR)	MTTR para substituição dos inversores de elevação 130T das pontes rolantes do Refino em média de 14 horas	Reduzir o MTTR desta atividade em 50% (máximo de 7 horas)
c. Gerar plano de ação para diminuir índice de falhas nos acionamentos elétricos da planta (aumentar MTBF);	MTBF = 15,9 dias das falhas em acionamentos elétricos em 2016 (23 falhas no ano)	Aumentar o MTBF em 50%, para intervalo mínimo de 24 dias, sendo o máximo de 15 falhas ao ano

Fonte: Autor (2016)

2.4 Plano de Ação

Utilizando da análise dos problemas potenciais principais foram traçados os planos de ação com base em cada meta sugerida.

2.4.1 Plano de Ação para o Risco por Tempo de Indisponibilidade de Ativo Reserva

Para atingir a meta: “Gerar plano de ação para diminuir o risco de paradas indesejadas por tempo de indisponibilidade de ativo reserva (Gestão de ativos)”, foi adotada a seguinte estratégia:

- Realizar os reparos dos equipamentos (inversores de frequência) danificados internamente para reduzir significativamente o tempo de indisponibilidade dos ativos.

Sendo assim, foi elaborado o plano de ação como mostra a Tabela 4.

TABELA 4. Plano de Ação para o risco de indisponibilidade de ativo reserva.

O QUE FAZER	QUEM	QUANDO	POR QUE FAZER	COMO FAZER
Levantamento da base instalada de todos os inversores da planta (fabricante, modelo, dados técnicos, etc)	Wellington (empresa contratada)	jun/13	Levantar a base instalada, para poder elaborar a lista de referência cruzada para gerar a solicitação de cadastro e compra de sobressalentes	Levantamento em campo de todos os inversores de frequência da planta
Elaborar lista de referência cruzada dos sobressalentes a serem cadastrados e comprados com base na base instalada	Wellington (empresa contratada)	ago/13	Gerar lista de sobressalentes necessários para realizar os reparos dos ativos (inversores de frequência) internamente	Gerar lista de referência cruzada entre sobressalentes e base instalada para definir quantidade mínima
Cadastrar os sobressalentes da lista elaborada no sistema Elipse	Supervisor Elétrica (empresa contratante)	out/13	Inserir cadastro no sistema Elipse para poder gerar a compra	Inserir cadastro individual de cada sobressalente de acordo com a lista gerada no sistema Elipse
Gerar compra das peças sobressalentes para estoque	Supervisor Elétrica / Supply (empresa contratante)	jul/14	Gerar estoque de peças sobressalentes para iniciar os reparos dos inversores de frequência internamente	Contato e negociação com os fornecedores

Fonte: Autor (2013).

2.4.2 Plano de Ação para o Tempo de Reparo – Diminuir MTTR

Para atingir a meta: “Gerar plano de ação para diminuir tempo de reparo das falhas e atividades acima de 10 horas de manutenção (diminuir MTTR)”, foi adotada a seguinte estratégia:

- Realizar estudo e instrução operacional para diminuir o tempo de reparo para substituição dos inversores de frequência da elevação 130 t das pontes rolantes do Refino, a fim de reduzir significativamente o tempo de indisponibilidade dos ativos.

Sendo assim, foi elaborado o plano de ação para traçar as ações para se ter as condições para colocar em prática a estratégia elaborada, conforme Tabela 5.

TABELA 5. Plano de Ação para diminuir o tempo de reparo – MTTR.

O QUE FAZER	QUEM	QUANDO	POR QUE FAZER	COMO FAZER
Realizar estudo e realizar de forma mais viável a atividade de substituição do inversor de elevação 130T das pontes rolantes	Wellington e Supervisor (empresa contratada e contratante)	mar/13	Diminuir significativamente tempo de reparo (MTTR) e melhorar a segurança da atividade	Realizar estudo em conjunto (contratante x contratada)
Elaborar Instrução Operacional no padrão da empresa contendo os procedimentos para a atividade de substituição do inversor após estudo	Engenheiro Manutenção (empresa contratante)	abr/13	Para instrução e treinamento aos eletricitistas da forma mais viável, segura e eficaz para a atividade	Elaborar instrução com as etapas descritas no estudo em conjunto (contratante x contratada)
Informar e treinar equipe para realizar a atividade conforme instrução operacional elaborada	Supervisor Elétrica (empresa contratante)	mai/13	Preparar a equipe de eletricitistas para estarem aptos a realizar a atividade conforme procedimento	Instrução e treinamento

Fonte: Autor (2013).

2.4.3 Plano de Ação para Aumento do Intervalo entre Falhas – Aumentar MTBF

Para atingir a meta: “Gerar plano de ação para diminuir índice de falhas nos acionamentos elétricos da planta (aumentar MTBF)”, foi adotada a seguinte estratégia:

- Elaborar plano de manutenção e realizar manutenções preventivas periódicas sistemáticas para todos os inversores de frequência da planta com o intuito de diminuir as ocorrências emergenciais por falta de manutenção, e aumentar o intervalo entre falhas (MTBF).

Sendo assim, foi elaborado o plano de ação para traçar as ações para se ter as condições para colocar em prática as estratégias traçadas, conforme Tabela 6.

TABELA 6. Plano de Ação para aumento do intervalo de falhas – MTBF.

O QUE FAZER	QUEM	QUANDO	POR QUE FAZER	COMO FAZER
Elaborar plano de manutenção individual para cada inversor de frequência da planta de acordo a base instalada	Wellington (empresa contratada)	dez/14	Para realizar manutenções preventivas sistemáticas periódicas a fim de diminuir as corretivas emergenciais e aumentar o MTBF	Elaborar o plano de manutenção com cada etapa da atividade e tempo de acordo recomendado ao painel do fabricante, de acordo a base instalada (210 equipamentos)
Inserir planos de manutenção no sistema Elipse da empresa para trabalho em conjunto com a Ordem de Serviço da atividade	Engenheiro Manutenção (empresa contratante)	jun/15	Para que haja registro de histórico para coletar e analisar os resultados, e dar continuidade com as Ordens de Serviços sendo geradas automaticamente pelo tempo	Inserir as informações elaboradas nos planos de manutenções no sistema Elipse
Executar os planos de manutenção de acordo com a periodicidade inicial definida, e analisar a situação caso a caso para melhor ajuste da periodicidade individualmente	Wellington (empresa contratada)	dez/16	Para medir e checar a eficácia da periodicidade definida e o resultado das manutenções preventivas	Executar a atividade e medir as condições dos equipamentos entre a periodicidade definida
Redefinir no Elipse a nova periodicidade individual daquelas aplicações que se fizerem necessário	Wellington e Engenheiro (empresa contratada e contratante)	dez/16	Para melhor ajustar o tempo ideal de cada ciclo de manutenção preventiva de acordo com a criticidade do equipamento e a condição da instalação de cada área	Repassar a nova periodicidade ao Engenheiro de Manutenção das condições especiais (minoria) para ajuste no sistema Elipse

Fonte: Autor (2016).

2.5 Execução das Ações do Plano de Ação

Todas as atividades foram seriamente executadas de acordo com o plano e a data definida. Cada item do plano foi elaborado de acordo com o detalhamento informado para alcance da estratégia e metas definidas.

A execução dos planos de manutenção preventiva foi prejudicada em certos períodos por conta dos tempos indisponíveis de serviço por final e renegociação de contrato, já que nos primeiros anos, os contratos possuíam prazos de tempo de contrato mais curtos. Por este motivo, foi utilizado como ano base para a efeito de comparação do valor de MTBF, o ano de 2016, que possui histórico completo e confiável para comparar com os anos de 2020 a 2023.

3 RESULTADOS

Os resultados obtidos de acordo com cada meta e estratégia traçada, com base nos problemas potenciais definidos individualmente, foram alcançadas e se mantém estáveis ao longo dos anos de contrato, até a data atual deste trabalho.

3.1 Resultado das Ações para Diminuir o Tempo de Indisponibilidade de Ativo Reserva

A meta de reduzir em 75% o tempo de indisponibilidade do ativo reserva, quando este era substituído danificado, e até estar pronto e apto para ser utilizado novamente, não foi somente alcançada, mas amplamente superada com os reparos realizados internamente, dando margem de disponibilidade e estando quase sempre os equipamentos prontamente aptos para utilização, conforme Tabela 7.

TABELA 7. Resultado das ações para diminuir o tempo de indisponibilidade de ativo reserva.

<u>ANTES</u>		<u>DEPOIS</u>	
DESCRIÇÃO	VALOR	DESCRIÇÃO	VALOR
Tempo médio de Indisponibilidade do ativo reserva quando este era substituído com defeito até estar apto para uso sendo reparado externamente no fabricante	180 dias	Tempo médio de Indisponibilidade do ativo reserva quando este era substituído com defeito até estar apto para uso sendo reparado internamente na empresa	5 dias
Meta de redução do tempo médio de indisponibilidade	Redução de 75%	Valor alcançado de redução de tempo médio de indisponibilidade	Redução de 97%

Fonte: Autor (2015).

Uma análise realizada ao longo dos anos indica que o tempo médio de reparo de 5 dias se mantém ao longo do contrato até data atual, sendo necessário para isso uma gestão séria e eficaz dos sobressalentes reservas e aquisição sempre que necessário.

Em relação ao longo tempo de indisponibilidade do ativo reserva que acontecia quando os reparos dos inversores de frequência eram realizados externamente, notou-se um alto risco pelo fato das pontes rolantes do Refino possuírem apenas um inversor reserva da elevação de 130 t para duas aplicações instaladas, e neste período do trabalho, houve duas ocorrências onde a necessidade da utilização do ativo reserva por falha/dano com tempo menor ao tempo inicial de indisponibilidade do ativo de 180 dias, ocorridos nos anos de 2016 e 2022. Na ocorrência mais recente (2022), o intervalo entre as falhas de defeito nos inversores de elevação de 130 t das duas pontes rolantes foi de apenas 14 dias, e o inversor reserva, que havia saído danificado, já se encontrava pronto e apto para utilização após a primeira falha apresentada. Portanto, o ganho pelo contrato de manutenção e os reparos internos vão além do tempo de reparo, mas interferem diretamente na disponibilidade operacional da planta.

O ganho com a ação de realizar os reparos dos equipamentos danificados internamente é ainda maior ao longo de 10 anos desta prática, e não sendo mensurado neste trabalho, tendo em vista que os custos dos reparos internos são menores em comparação aos custos dos reparos externos praticados anteriormente.

3.2 Resultado das Ações para Diminuir o Tempo de Reparo - MTTR

A meta de reduzir o tempo de reparo (MTTR) em 50% ao substituir o inversor de frequência da elevação 130 t das pontes rolantes do Refino foi alcançada com a realização de um estudo e elaboração de um procedimento operacional para esta atividade, e treinamento da equipe de executantes da manutenção elétrica, conforme mostra a Tabela 8. Além do ganho operacional do tempo de indisponibilidade da ponte rolante, esta ação tornou a execução da atividade mais segura para os executantes.

TABELA 8. Resultado das ações para diminuir o tempo de reparo – MTTR.

<u>ANTES</u>		<u>DEPOIS</u>	
DESCRIÇÃO	VALOR	DESCRIÇÃO	VALOR
Tempo médio de reparo (MTTR) de substituição do inversor de frequência com defeito da elevação 130T das pontes rolantes do Refino	14 horas	Tempo médio de reparo (MTTR) atual de substituição do inversor de frequência com defeito da elevação 130T das pontes rolantes do Refino	4 horas
Meta de redução do tempo médio de indisponibilidade	Redução de 50%	Valor alcançado de redução de tempo médio de indisponibilidade	Redução de 71,5%

Fonte: Autor (2015).

Uma ação de mudança realizada na instrução operacional, e que gerou grande impacto no resultado, foi a utilização de guindaste durante a atividade de manutenção, devido ao acesso, o peso do equipamento e a área dificultarem a execução de forma manual, conforme mostra Figura 4.

FIGURA 4. Utilização de guindaste na manutenção do Inversor de Frequência – Pontes Rolantes



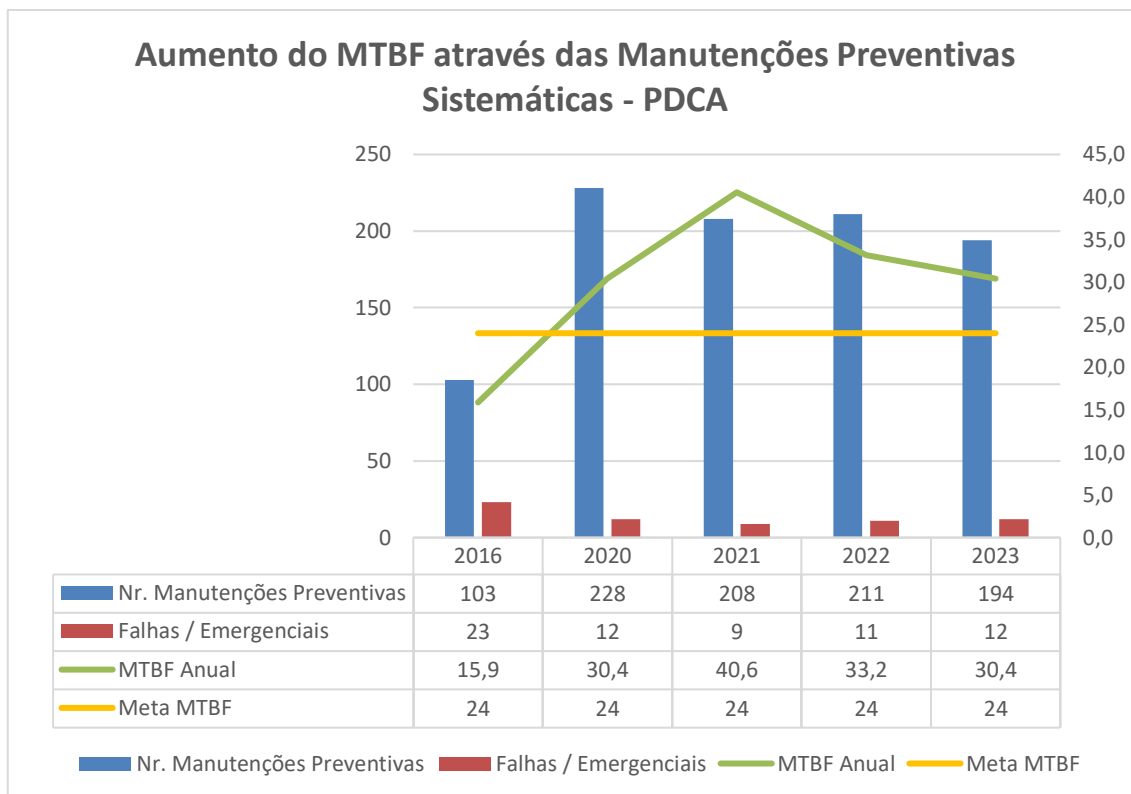
Fonte: Autor (2017).

Uma análise mais profunda em relação ao tempo de reparo para substituição dos inversores de elevação 130 t das pontes rolantes do Refino, evidencia que o ganho médio de 10 horas de disponibilidade operacional na redução da manutenção desta atividade se torna mais considerável ao longo dos anos pela quantidade de atividade realizada. No levantamento, foi considerado que esta atividade foi realizada cerca de 21 vezes ao longo dos últimos 10 anos, colaborando para o aumento da disponibilidade operacional das pontes rolantes da área do Refino.

3.3 Resultado das Ações para Aumentar o Tempo de Intervalo entre Falhas - MTBF

A meta de reduzir os índices de falha nos acionamentos elétricos, e consequentemente, aumentar o intervalo entre falhas (MTBF) em 50% foi alcançado com a realização das manutenções preventivas sistemáticas, e se mantém até a data atual. Apresentado o resultado de 2020 a 2023, em comparação ao dado inicial do ano de 2016, conforme mostra Figura 5.

FIGURA 5. Aumento do MTBF.



Fonte: Autor (2023).

Estes resultados nos mostram que o plano de manutenção preventiva sistemática periódica nos inversores de frequência se faz necessário nas indústrias de mineração, devido ao ambiente agressivo com exposição de poeira, e por vezes, poeiras condutivas que podem gerar danos aos componentes eletrônicos dos acionamentos elétricos, e que uma gestão de ativo eficaz para a disponibilidade de equipamento reserva é de suma importância.

Portanto, uma gestão de manutenção com foco na confiabilidade dos equipamentos traz lucros reais para a instituição, mas principalmente, a certeza de que metas cada vez mais significativas podem ser alcançadas através da confiabilidade dos equipamentos, instalações e processos.

4 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi apresentar estratégias a partir dos serviços de contrato de manutenção e as ações implantadas através da ferramenta do PDCA para aumentar a disponibilidade operacional e a confiabilidade dos equipamentos em todos os acionamentos elétricos (inversores de frequência) críticos em uma empresa de Mineração de Níquel.

O trabalho alcançou o objetivo, pois foi mostrado que com a aplicação de uma Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), e suas ferramentas, houve um aumento da disponibilidade operacional dos acionamentos elétricos através das ações implantadas para aumentar o MTBF, reduzir o MTTR e o tempo de indisponibilidade dos ativos sobressalentes reservas.

Foi mostrado que houve um aumento do MTBF em média de 111% entre os anos de 2020 a 2023, em relação ao ano base de comparação em 2016. Além disso, houve também redução de 71,5% no MTTR para substituição dos inversores de elevação 130 t das pontes rolantes do Refino, e redução

de 97% no tempo de indisponibilidade dos ativos reservas, diminuindo drasticamente o risco de indisponibilidade operacional por falta de equipamento ativo reserva.

Assim, o trabalho mostrou com os resultados obtidos que a aplicação das técnicas da ferramenta do PDCA um importante forma para a melhoria contínua e aumento da performance operacional, e frutos de uma gestão competente, que planeja, executa e avalia de maneira séria a redução de custos, a obtenção de maior segurança, o lucro com aumento de horas disponíveis operacionais, e acima ainda, a confiança no projeto e no processo como um todo.

As instruções operacionais se mostraram uma ferramenta para padronizar o trabalho, reduzir o tempo de execução e mitigar os riscos de acidentes, agregando valor em todas as esferas e na prevenção aos riscos. Os reparos internos dos equipamentos danificados foram uma estratégia de impacto para trazer lucro, com custo menor ao de reparo externo, sem necessidade de logística, e ainda, disponibilizando rapidamente o equipamento para sua disponibilidade operacional, mitigando os riscos de uma longa parada indesejada por falta de ativo reserva.

E com os planos de manutenção sistemática periódica há a possibilidade de identificar previamente problemas potenciais, pois durante a manutenção preventiva é realizado inspeção sobre a funcionalidade dos componentes, como por exemplo, os ventiladores de refrigeração que podem apresentar ruído e início de travamento dos rolamentos como sinal de vida útil comprometida pelo excesso de poeira. Além disso, é realizado medição de isolamento e ensaios elétricos dos componentes de potência (IGBTs, tiristores, capacitores, resistores, etc), gerando histórico para acompanhar a evolução de possíveis desgastes ao longo dos anos. Esta identificação prévia evita que falhas que possam ser detectadas venham a ocorrer, comprometendo com a disponibilidade do equipamento e de toda operação. Com estas observações, sugere-se para futuros trabalhos ampliar o estudo deste trabalho e mensurar a economia e os ganhos financeiros que foram gerados com as ações implantadas, já que neste trabalho foram apresentados os resultados focados no tempo de disponibilidade operacional.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 5462: confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994.

BARAN, Leandro Roberto. Manutenção Centrada em confiabilidade aplicada na redução de falhas: um estudo de caso. Ponta Grossa. Monografia para Especialização – UTFPR, 2011.

CAMPOS, Vicente Falconi. Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia. 8ª Edição. Nova Lima: Editora INDG TecS, 2004.

CAMPOS, Vicente Falconi. TQC: Controle da qualidade total (no estilo japonês). 8ª Edição. Nova Lima: Editora INDG TecS, 2004.

CARAZAS, Fernando Jesús Guevara. Decisões baseadas em risco: método aplicado na indústria de geração de energia elétrica para a seleção de equipamentos críticos e políticas de manutenção. São Paulo. Tese de Doutorado – Escola Politécnica da USP, 2011.

DOMINGUES, Rafael Moreira. Uso do FMEA como ferramenta para análise de riscos em projetos. Florianópolis. Trabalho de Conclusão de Curso da Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

MASCHERONI, José M. Guia de aplicação de inversores de frequência. 3ª Edição. Jaraguá do Sul. Weg Automação, 2005.

OLIVEIRA, Stéfany Marinho de; SILVA, Cecília Teixeira da; BRANDÃO, Eliane Matos. Ciclo PDCA. Rio de Janeiro. Artigo da Universidade Federal Fluminense, 2022.

SELVA, Rodrigo Fonseca Lima. O uso da ferramenta PDCA como instrumento de melhoria contínua no setor de logística. Recife. Trabalho de Conclusão de Curso da Universidade Federal do Pernambuco, 2010.

SILVA, Cleiton Oliveira; AGOSTINO, Ícaro Romolo Sousa; SOUSA, Saymon Ricardo de Oliveira; COUTO, Pedro Frota, DAHER, Ricardo Oliveira. A utilização do método PDCA para melhoria dos processos: um estudo de caso no carregamento de navios. Revista Espacios – V.38 – Nr. 27, 2017.

TORTORELLA, Guilherme Luz; FOGLIATO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. Identificação de fatores que afetam a sustentabilidade de melhorias em células de manufatura usando grupos focados. Rio de Janeiro: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, 2008.

VIANA, Hebert Ricardo Garcia. Manual de gestão da manutenção. Volume 1. ENGETELES Editora, 2020.

VIANA, Hebert Ricardo Garcia. Manual de gestão da manutenção. Volume 2. ENGETELES Editora, 2021.