

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC**CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE****ANÁLISE DE FALHAS E DA CONFIABILIDADE EM UM SISTEMA DE COMBATE A INCÊNDIO (SCI)**

Denise Pinho ¹
Fabianne Rodrigues ²
Carlos Augusto Souza ³

RESUMO: Sistema de combate a incêndio – SCI, é um dos principais meios de garantir a segurança de ambientes que trabalham com produtos inflamáveis, considerado como sistema auxiliar, o sistema deste estudo é composto por um conjunto motobombas elétrico e dois motobombas a combustão, que são redundantes. Este trabalho tem como objetivo principal comprovar a importância de implantação de planos de manutenções preventivas e preditivas em Sistemas de Combate a Incêndio, onde tais sistemas são responsáveis pela segurança operacional, das pessoas e do meio ambiente. Os resultados mostram que sistemas auxiliares como SCI precisam ser monitorados continuamente, semelhante ao que é feito com os sistemas principais para que estes tenham alta confiabilidade e disponibilidade quando forem acionados para combater qualquer foco de incêndio. A conclusão deste estudo é que a indústria precisa se modernizar no âmbito do acompanhamento de sistemas auxiliares, e que estes devem ser instalados com base em projetos e pesquisas que consideram o produto que irão utilizar, pois a falhas apresentadas no SCI são decorrentes de desgaste provocados pela salinidade da região e não falha de especificação de projeto dos materiais.

Palavras-chave: Sistema de combate a incêndio. Manutenção preditiva. Confiabilidade.

1 INTRODUÇÃO

A teoria da confiabilidade segundo a Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 5462/1994 e, de acordo com o item 2.2.6, se relaciona com a “capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo”, ou seja,

¹ Pós-graduanda em Engenharia de Confiabilidade, Centro Universitário SENAI CIMATEC, fabyrodrygues@hotmail.com

² Pós-graduanda em Engenharia de Confiabilidade, Centro Universitário SENAI CIMATEC, denisepinho@ymail.com

³ Carlos Augusto de Souza, Doutor em Mecânica - Université Paris VI, Professor Adjunto SENAI CIMATEC, carlosaugustodesouza@gmail.com.

um equipamento ou máquina deve funcionar sem ocorrência de falhas, conforme as especificações estabelecidas pelo fabricante. A alta confiabilidade de sistemas, sejam eles principais ou auxiliares, segundo Lafraia (2001), permite:

- Otimizar os lucros através da redução de paradas não programadas de equipamentos;
- Redução dos custos de manutenção;
- Redução de perdas por lucro cessante e redução de acidentes na empresa;
- Aumento do processo produtivo;
- Flexibilização do processamento de diversos tipos de cargas, por ser capaz de atuar nas causas básicas dos problemas;
- Armazenamento de informações de falhas através de banco de dados.

Um bom programa de manutenção preventiva e preditiva melhora a confiabilidade dos ativos, evitando que danos potencialmente graves se instalem nos equipamentos e sistemas associados a este. Assim, a redução da severidade de tais danos, aumentam o tempo de operação e conseqüentemente os indicadores de confiabilidade e de custo, que são pilares de uma gestão eficiente da manutenção. O principal indicador da confiabilidade é Tempo Médio Entre Falhas – MTBF, pois fornece dados do tempo de operação do equipamento sem falhar e os subsídios para se determinar o tempo mais efetivo em relação ao custo, para substituir componentes em falha, ao invés de continuar a absorver altos custos de manutenção corretiva reativa (KARDEC; NASCIT, 2012).

O Sistema de Combate a Incêndio – SCI de uma unidade industrial é o objeto de estudo deste trabalho, ele é composto por um motor elétrico e dois motores a combustão, ambos associados ao mesmo tipo de bomba, que entram em operação conforme a necessidade de pressurização da tubulação de combate a incêndio ou da ocorrência de sinistro a ser combatido.

A configuração do SCI tem o motor elétrico como principal e os motores a combustão como redundantes. Esta estrutura se deve ao fato de que motores elétricos são mais confiáveis, pois possuem menos partes móveis, tem mais torque e sua eficiência é definida no seu rendimento, ou seja, quanto maior o rendimento, maior será sua eficiência e menor perdas de energia devido ao aquecimento, atrito, entre outros (CHAPMAN, 2013). Já os motores a combustão devido aos seus conjuntos secundários, podem apresentar falhas principalmente nos sistemas de partida, alimentação e resfriamento, reduzindo com isso a sua confiabilidade. Os motores em geral, como qualquer outro equipamento, sofrem desgastes e envelhecimento

com o tempo e com o uso, apresentando falhas decorrentes desse processo ou mesmo pela falta de manutenção e pelos reparos inadequados (TILLMANN, 2013).

O SCI é um sistema de utilidades considerado auxiliar, o que significa que não é considerado um dos principais da unidade, apesar de ser vital para que ela possa manter a segurança de suas operações. Sistemas operacionais considerados como principais (SOP) costumam fazer parte de programas acompanhados com a engenharia de manutenção, mantendo rígido controle dos planos de manutenção preventiva e preditiva e até mesmo corretiva, mas os auxiliares não têm este tipo de acompanhamento e normalmente têm baixa confiabilidade e por isto precisam ser redundantes. Os equipamentos que fazem parte de um controle centralizado de engenharia possuem planos de manutenção preventiva e preditivas com análise de óleo, análise de vibração, análise de corrente e termografia. Este acompanhamento melhora a confiabilidade destes equipamentos, pois principalmente para o caso das manutenções preditivas, que permitem a antecipação de falhas e através do planejamento, são realizadas intervenções mantenedoras para reparo do item ou componente sem que haja parada na planta, as chamadas corretivas programadas (VIANA, 2012).

A importância de aumentar a confiabilidade de sistemas é evitar grandes falhas que possam causar danos relacionados com a segurança de pessoas e equipamentos e prejuízos para a empresa, nos últimos três anos ocorreram três falhas de alto potencial na motobomba principal do SCI desta unidade. A análise destas falhas se torna imprescindível tanto pela quantidade de ocorrências quanto pelos riscos envolvidos nelas.

Assim, este artigo que tem como objetivo analisar se o acompanhamento feito pela engenharia de manutenção para os sistemas ditos principais aumenta a confiabilidade e disponibilidade, diminuindo tempo de reparo em comparação a sistemas sem este acompanhamento, como é o caso do SCI que apresenta baixa confiabilidade e disponibilidade com altos tempo de reparo. O trabalho apresenta ainda, estudo de caso para análise de falhas no sistema principal do SCI, a fim de se encontrar a causa raiz e sugerir tratativas para evitar reincidências.

2 METODOLOGIA

A empresa em estudo, trabalha com armazenamento e transporte de Petróleo e derivados e no seu entorno há diversas propriedades habitacionais e comerciais. O sistema de combate a incêndio é um dos principais meios de garantir a segurança das pessoas e equipamentos de qualquer unidade (industrial ou não), e deve ser capaz de combater um foco

de incêndio com agilidade, pois os produtos transferidos e armazenados nesta planta são inflamáveis.

2.1 FUNCIONAMENTO DO SCI

A água utilizada neste SCI é retirada diretamente do mar, esta é uma característica específica do local estudado, pois devido a abundância de água salgada optou-se por utilizar ela em substituição a água doce, que usualmente é utilizada em sistemas de combate. Em contrapartida, a água salgada gera maiores danos nos equipamentos, que devem ter seus materiais apropriados para este tipo de fluido. São utilizadas motobombas verticais localizadas no píer para sucção da água salgada.

A rede de incêndio² é mantida pressurizada em cerca de 5,0 Kgf/cm² através de uma bomba Jockey³. Se a pressão na rede cair abaixo de 4,0 Kgf/cm² a bomba Jockey é acionada automaticamente, ou seja, quando a pressão em qualquer um dos nove transmissores de pressão instalados ao longo da rede de incêndio, for igual ou menor que 3,9 kgf/cm², a bomba começa a operar. Quando a rede atinge a pressão de 6,0 kgf/cm², a bomba Jockey é desligada automaticamente. Esta bomba pode também ser ligada/desligada manualmente pelo campo ou remotamente pelo sistema supervisor, em caso de falha na operação da bomba. Falhas nesta bomba são detectadas através de alarmes de baixa pressão ou alarme de falha na bomba.

Fazem parte do SCI três motores, um motor elétrico e dois a diesel, e três bombas idênticas. O sistema é dimensionado para, em caso de um sinistro na área, operar com duas bombas, uma elétrica e uma diesel, ficando a outra bomba diesel como reserva. A partida da primeira bomba para combate ao incêndio ocorrerá quando a pressão na rede for inferior a 3,9 kgf/cm² por mais de 30 segundos. Se após 30 segundos da partida da 1ª bomba, a pressão na rede for inferior a 8,0 kgf/cm², a 2ª bomba é acionada. Se trinta segundos após o envio deste comando de partida da 2ª bomba, o sistema supervisor continuar verificando pressão inferior a 8,0 kgf/cm², a 3ª bomba será acionada. O desligamento destas bombas só pode ser feito manualmente nas botoeiras de campo, a fim de evitar desligamentos espúrios por falhas no CLP.

² A Descrição do funcionamento do Sistema faz parte de um documento padrão da empresa, cujo número não será disponibilizado por segurança da informação.

³ A Bomba Jockey é uma bomba de manutenção de pressão, sua função é manter a pressão do sistema de hidrantes e evitar danos causados por golpes de pressão. É uma bomba de menor porte que não consegue vazão suficiente para combate, apenas para manutenção de pressão.

Os Transmissores de Pressão do sistema possuem alarme de alta pressão ajustado em 14,0 kgf/cm². Caso a pressão no sistema atinja 16,0 kgf/cm², as válvulas de segurança (PSV's) das descargas das bombas do SCI deverão abrir. A rede de água do sistema de combate a incêndio da Plataforma marítima é composta por 81 hidrantes.

Além da rede de água, há um sistema de espuma que é composto por:

- 02 reservatórios na área de Tancagem (10 m³ cada)
- 02 bombas: elétrica e diesel
- 1 Proporcionalador do tipo RCF
- 4 vasos com diafragma dispostos nos píeres

As Figuras 1, 2 e 3 mostram alguns exemplos desses equipamentos.

Figura 1 – a) Motor a Combustão; b) Motor Elétrico Vertical; c) Bomba Jockey

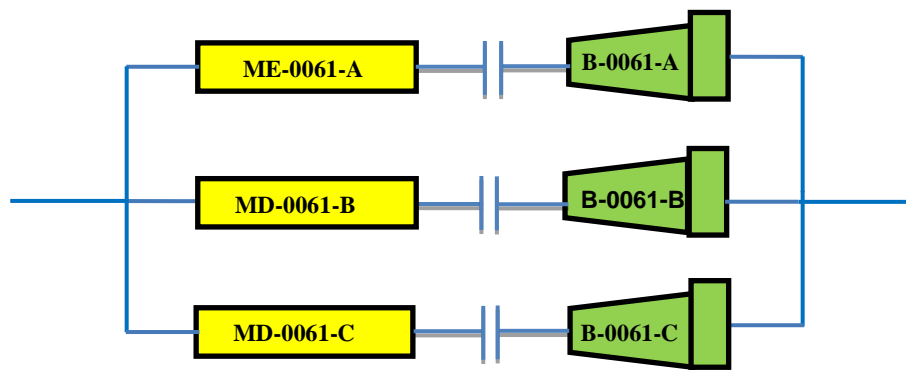


Fonte: a) Nunes (2019); b) Site JdMart; c) Site GMF Montagens

Considerado como sistema auxiliar, o SCI contém o motor elétrico (MB-0061-A) e dois motores a diesel redundantes (MB-0061-B e MB-0061-C).⁴ Os motores a combustão são importantes, pois mesmo que haja falta de energia elétrica ou pane elétrica e o conjunto MB-0061-A saia de operação, os conjuntos MB-0061-B e MB-0061-C, que são a diesel, poderão manter o combate a incêndio operante. Na Figura 4, está representada a configuração do SCI, em sistema paralelo e que gera ganho de confiabilidade por redundância e tempo de operação das unidades em *standy-by* baixo. É cultura da empresa, para sistemas auxiliares, investir mais em projetos de redundância e menos em manutenção e acompanhamento, o foco é garantir a operação de pelo menos uma bomba.

Figura 4 – Configuração do SCI - ME – motor elétrico; MD – motor a diesel; B – Bomba.

⁴ Para preservar a confidencialidade dos dados e da empresa as TAG's foram alteradas.



Fonte: Elaborado por autores (2021)

2.2 COLETA E TRATAMENTO DE DADOS

Inicialmente foi realizada coleta dos dados do histórico de manutenções dos motores e bombas tanto dos sistemas operacionais principais (SOP) quanto do SCI. Foi feita a comparação destes dados, antes e após a implantação da manutenção preditiva nos SOP. As informações foram retiradas do sistema SAP⁵, sistema em que fica o banco de dados da planta.

Em seguida as informações foram tratadas, tabuladas e analisadas em ambiente Microsoft Excel. A análise foi feita através de gráficos comparativos entre equipamentos dos SOP e equipamentos do SCI referente a: quantidade e o tipo de manutenção, os custos das manutenções corretivas, a disponibilidade e confiabilidade dos sistemas.

Dentro do sistema em estudo foi feita comparação entre a confiabilidade dos motores elétricos e a combustão, pois estes possuem diferenças de funcionamento que devem ser consideradas na elaboração de planos de manutenção, visto que os motores a combustão possuem mais dispositivos suscetíveis a falhas por desgaste e deterioração, que já são esperados, pois o ambiente possui alto grau de salinidade, o que acelera a deterioração dos componentes de todos os equipamentos no local.

Ao final da comparação de dados foi feita a análise de três falhas com potencial grave, o método escolhido foi Análise de Árvore de Falha – FTA, que tem o objetivo de determinar as causas básicas de um evento ou ainda sua sequência através de diagrama lógico do conjunto mínimo das causas que levaram as falhas ocorrerem e através dele foi possível

⁵ SAP é um software que contém um sistema integrado de gestão capaz de funcionar como banco de dados e controle de processos de uma empresa.

identificar as causas que levaram a bomba elétrica principal do SCI a ter três falhas recorrentes e que geraram indisponibilidade total deste equipamento.

2.3 ANÁLISE DA CONFIABILIDADE OPERACIONAL DO SCI

O programa de manutenção dos motores e bombas que compõe o SCI deve ser capaz de aumentar a confiabilidade e disponibilidade, por este motivo é importante que seja estudado a fim de verificar sua eficácia e propor possíveis melhorias. A análise do custo gerado também é importante, pois não deve exceder valores que gerem prejuízos a companhia. A manutenção desse sistema deve ser eficiente e com um custo adequado.

A partir de 2019, foi implementado na empresa um Centro de Diagnóstico de Máquinas (CDM), que se tornou responsável pelo acompanhamento das principais motobombas de suas unidades industriais, nele se estabeleceu um controle de manutenção centralizado e rígido e com a aplicação de técnicas de engenharia de manutenção. Quando comparados os planos de manutenções do SCI, que é um sistema auxiliar, e os planos dos sistemas acompanhados pelo CDM, é visível que o SCI não tem planos bem estruturados e adequados a sua importância. Esta é uma prática cultural nas indústrias, mas também é paradoxal, pois um sistema de combate a incêndio deve ter a mesma, ou até maior, disponibilidade dos demais sistemas, apesar de não ser de operação contínua. Esta prática é uma das causas dos dados de disponibilidade inferiores que serão apresentados nos resultados.

Outro ponto importante é a diferença de confiabilidade entre o motor elétrico e a combustão, tornando o motor o ponto crítico do conjunto. O primeiro tem dados que mostram baixo número de falhas, mas precisa ter alimentação elétrica disponível para garantir seu funcionamento. Os motores a combustão neste caso entram como plano alternativo, caso falte energia, então é importante que seus sistemas auxiliares também mantenham a boa disponibilidade do motor para uso em emergências.

Os principais motores e bombas da unidade com o controle do CDM, passaram a ter planos de preventiva e preditiva acompanhados criteriosamente e de maneira centralizada na sede da empresa. No caso de falhas, a manutenção corretiva é executada no menor tempo possível e com prioridade e ainda há a possibilidade de contratos específicos e manutenções acompanhadas por especialistas do centro. O resultado deste tipo de controle são equipamentos com alta taxa de disponibilidade e menores custos de manutenção. Diante disso, houve a necessidade de desenvolver estudo comparativo dos equipamentos do SCI que não tem o mesmo tipo de acompanhamento. O objetivo final é de quantificar através desse

estudo como um bom plano de manutenção permite que equipamentos que são imprescindíveis para a segurança geral estejam sempre disponíveis quando solicitados.

3 ESTUDO COMPARATIVO DOS DADOS COLETADOS

O estudo comparativo inicial foi feito entre os equipamentos acompanhados pelo CDM, composto por 12 Motobombas, e os equipamentos do SCI composto por 3 Motobombas, ambos em uma empresa de armazenamento e transporte de Petróleo e derivado no período de 2017-2020. As bombas do SOP começaram a ser monitoradas pelo CDM a partir de 2019, para fins de pesquisa e análise comparativa, foram avaliados os dados dos últimos 2 anos antes e após a implantação da engenharia de manutenção do CDM. O método utilizado para realizar o monitoramento da condição dos equipamentos inclui:

- Manutenção preditiva: análise de vibração, de óleo e de corrente;
- Manutenção preventiva periódicas;
- Emissão de relatórios gerenciais;
- Controle de indicadores de disponibilidade e confiabilidade;
- Priorização e execução de manutenções de casos críticos.

Para os equipamentos do SOP a Tabela 1, apresenta dados de 2017 e 2018 (antes do acompanhamento do CDM) e a Tabela 2, apresenta dados de 2019 e 2020 (com acompanhamento do CDM). Ao comparar as duas tabelas, é possível observar o efeito da aplicação de engenharia de manutenção, pois houve redução dos custos e ocorrências de manutenções corretivas, apesar de terem sido gastas mais horas de reparo no total. Isto é explicado por dois fatores: melhor controle de manutenção para execução de corretivas programadas e melhoria na qualidade dos registros de manutenção, que passaram a contabilizar melhor o HH gasto em cada ordem. As Tabelas 1 e 2 seguem abaixo:

Tabela 1 – Custos e HH com Corretivas dos Equipamentos sem acompanhamento do CDM de 2017-2018

Equipamentos	Nº OS	HH ⁶	Custos Totais
MB-0013-A	3	37,09	R\$ 588,59
MB-0020-A	3	181,94	R\$ 72.719,11
MB-0020-B	7	61,59	R\$ 697.837,61 ⁷
MB-0030-A	7	48,53	R\$ 1.213,74
MB-0030-B	12	78,68	R\$ 789,86
MB-0030-C	9	63,91	R\$ 433,50

⁶ Homem Hora

⁷ O custo elevado se deu devido a uma falha no motor da MB-0020-B, em que ocorreu princípio de incêndio e perda total do motor devido a uma falha conjunta de elétrica do banco de baterias e automação. Apesar de aparente distorção de dados, umas das causas raiz foi falha de manutenção, por este motivo não foi expurgado.

MB-0030-D	12	239,01	R\$	2.058,89
MB-0030-E	3	44,87	R\$	267,97
MB-0057-A	4	36,68	R\$	5.155,29
MB-0057-B	2	83,59	R\$	10.076,89
PB-0031-A	4	22,01	R\$	43,79
PB-0031-B	5	16,92	R\$	93,87
Total Geral	71	914,82	R\$	791.279,11

Fonte: Elaborada por autores (2021)

Tabela 2 – Custos e HH com Corretivas dos Equipamentos com acompanhamento do CDM de 2019-2020

Equipamentos	Nº OS	HH	Custos Totais
MB-0013-A	1	3,25	R\$ 250,67
MB-0020-A	2	190,77	R\$ 7.788,83
MB-0020-B	3	22,88	R\$ 1.745,84
MB-0030-A	13	511,35 ⁸	R\$ 21.945,53
MB-0030-B	13	101,19 ⁹	R\$ 7.135,667
MB-0030-C	6	45,68	R\$ 2.398,28
MB-0030-D	13	259,97 ¹⁰	R\$ 12.331,29
MB-0030-E	6	20,12	R\$ 1.613,25
MB-0057-A	1	2,67	R\$ 205,94
MB-0057-B	3	92,51	R\$ 5.381,66
PB-0031-A	0	0,01	R\$ 0,01
PB-0031-B	1	19,76	R\$ 1.034,97
Total Geral	62	397,65	R\$ 61.831,93

Fonte: Elaborada por autores (2021)

Comparando os indicadores de confiabilidade das Tabelas 3 e 4, verifica-se aumento do Tempo Médio Entre Falhas - MTBF¹¹ e redução do Tempo Médio de Reparo – MTTR¹² com aumento significativa da disponibilidade destes equipamentos acompanhados pelo CDM.

Tabela 3 – Dados de falhas dos equipamentos sem monitoramento pelo CDM de 2017-2018

Equipamentos	MTBF	MTTR	Disponibilidade
MB-0013-A	430,00	39,00	91,68%
MB-0020-A	113,00	151,00	42,80%
MB-0020-B	127,86	58,67	68,55% ¹³
MB-0030-A	70,86	38,86	64,58%
MB-0030-B	55,83	14,92	78,92%
MB-0030-C	85,63	35,33	70,79%
MB-0030-D	58,92	21,42	73,34%
MB-0030-E	165,33	21,67	88,41%
MB-0057-A	52,75	54,75	49,07%

⁸ MB-0030-A – Apresentou vibração excessiva e passou por troca de rolamentos e componentes de vedação. Dado expurgado do total, devido a distorção causada nos dados.

⁹ MB-0030-B – Apresentou falha no selo – dado foi expurgado do total pois distorce o resultado e se refere a uma falha decorrente da combinação de desgaste e falta de acompanhamento de manutenção anterior ao CDM.

¹⁰ MB-0030-D – Apresentou falha no selo e no mancal – dado também foi expurgado do total pelo mesmo motivo da referência 7.

¹¹ MTBF – *Mean Time Between Failures* – Tempo Médio Entre Falhas - Valores em Dias.

¹² MTTR – *Mean Time To Repair* - Tempo Médio de Reparo - Valores em Dias.

¹³ Neste caso o valor não foi expurgado, pois não houve registro de HH para gerar distorção dos dados.

MB-0057-B	437,5 ¹⁴	1,5	99,66%
PB-0031-A	182,75	23,25	88,71%
PB-0031-B	112,60	0,40	99,65%
Total Geral	157,75	42,35	76,09%

Fonte: Elaborada por autores (2021)

Tabela 4 – Dados de falhas dos equipamentos monitorados pelo CDM de 2019-2020

Equipamentos	MTBF	MTTR	Disponibilidade
MB-0013-A	727,00	0,00	100,00%
MB-0020-A	532,00	21,50	96,12%
MB-0020-B	168,00	55,67	75,11%
MB-0030-A	59,31	20,08	74,71%
MB-0030-B	39,09	25,45	60,56%
MB-0030-C	121,83	14,50	89,36%
MB-0030-D	20,31	42,62	67,73%
MB-0030-E	148,33	22,83	86,66%
MB-0057-A	697,00 ¹⁵	0,00	100,00%
MB-0057-B	153,67	37,00	80,59%
PB-0031-A	536,00	0,01	100,00%
PB-0031-B	536,00	23,00	95,89%
Total Geral	311,54	21,88	85,56%

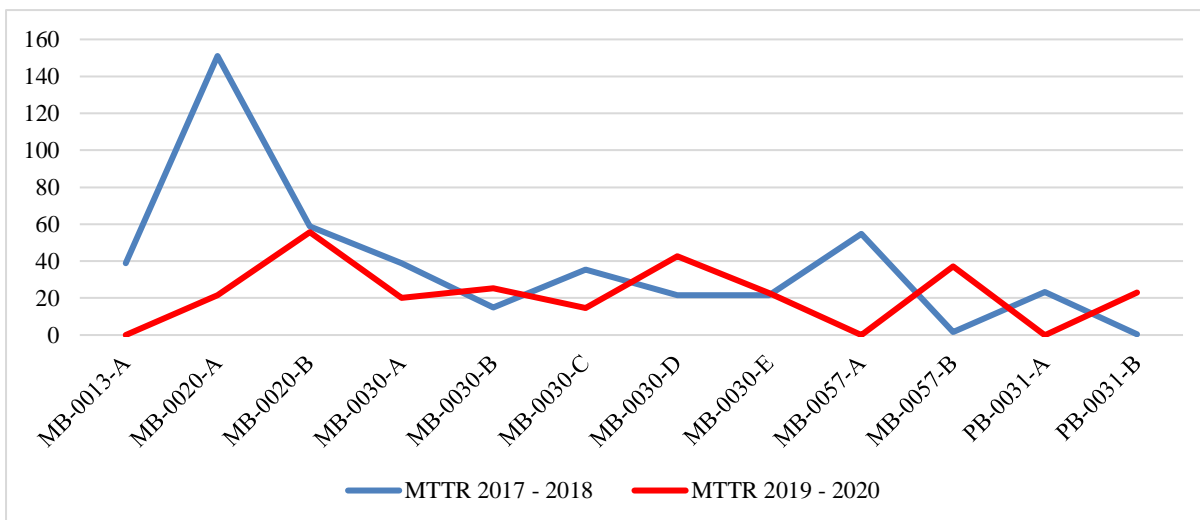
Fonte: Elaborada por autores (2021)

O Gráfico 1 a seguir, ilustra um comparativo entre o MTTR de 2017-2018 (linha azul) e o MTTR de 2019-2020 (linha em vermelho), uma redução do MTTR em diversos equipamentos, e os pontos fora da curva da MB-0030-D e MB-0057-B são casos pontuais em que o reparo de fato levou mais tempo de resolução. Desta forma, se comprova que após estes equipamentos passarem a ser monitorados pelo CDM, os reparos passaram a ser realizados de maneira mais rápida e eficiente pela equipe mantenedora.

Gráfico 1 - Gráfico comparativo do MTTR dos equipamentos sem e com acompanhamento pelo CDM entre 2017 a 2020

¹⁴ Apenas duas falhas de rápido tempo apresentadas no período para MB-0057-B.

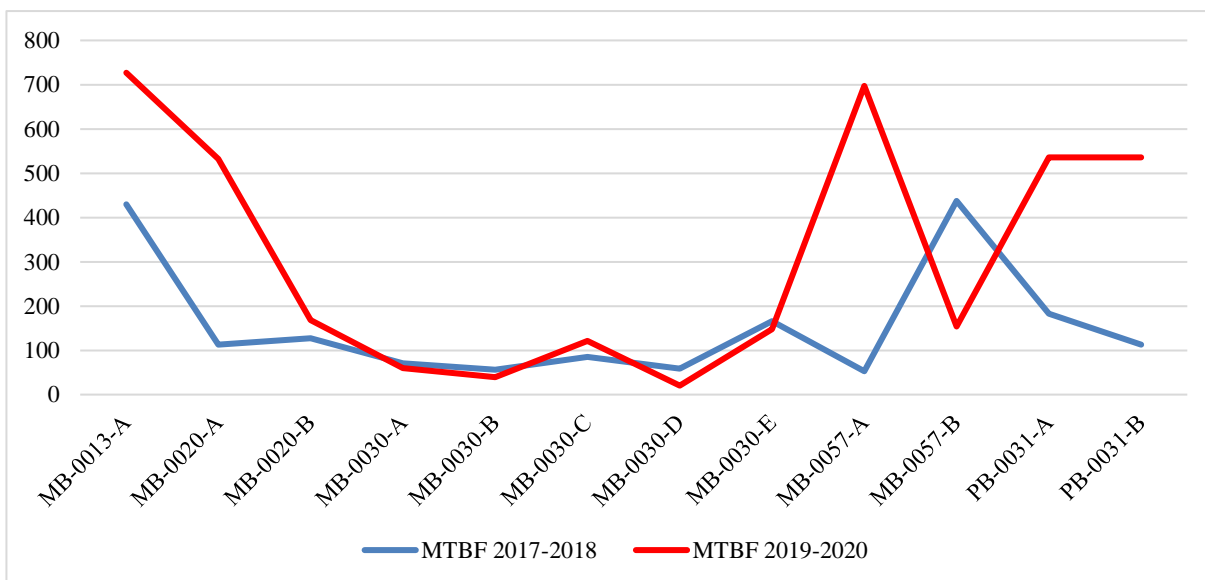
¹⁵ Não houve falha registrada do conjunto motobomba MB-0057-A no período.



Fonte: Elaborada por autores (2021)

O Gráfico 2, ilustra um comparativo entre o MTBF de 2017-2018 (linha azul) e MTBF de 2019-2020 (linha vermelha), um aumento discreto em alguns equipamentos é observado, e os casos pontuais em que houve redução do MTBF são explicados nas notas de rodapé 9, 10 e 14.

Gráfico 2 - Gráfico comparativo do MTBF dos equipamentos sem e com acompanhamento pelo CDM de 2017 a 2020



Fonte: Elaborada por autores (2021)

Quanto a quantidade de manutenções, a Tabela 5, a seguir apresenta a quantidade de manutenções corretivas, preventivas e preditivas de 2017 a 2020 e o HH anual de cada uma. Há menor quantidade de manutenção corretiva, ou seja, os equipamentos apresentaram um

maior tempo de operação sem interrupções, o que comprova o melhor acompanhamento destes equipamentos através das manutenções preventiva e preditiva. Apesar de haver diminuição na quantidade de manutenções preventivas e preditiva, o HH gasto com elas se manteve no mesmo patamar, pois o que ocorreu em 2019 foi uma reavaliação e reorganização dos planos de manutenção, tornando-os mais eficientes.

Tabela 5 – Dados comparativos de HH (horas) com manutenções corretivas, preditivas e preventivas dos equipamentos sem e com monitoramento pelo CDM de 2017-2020

Ano	Nº de Corretiva	HH	Nº de Preditiva	HH	Nº de Preventiva	HH
2017	45	478,63	169	144,89	106	415,87
2018	28	436,19	181	64,76	89	359,93
Total sem CDM	73	914,82	350	209,66	195	775,80
2019	19	296,65	139	47,50	74	344,80
2020	40	729,93	122	76,51	52	489,17
Total com CDM	59	1021,58	261	124,01	126	833,97

Fonte: Elaborada por autores (2021)

Como dito anteriormente, para o SCI a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos são essenciais. Ao verificar os dados da Tabela 6, fica claro que as três bombas do sistema apresentam no total elevados custos de reparo e estes, são maiores que os custos totais dos doze equipamentos acompanhados pelo CDM, bem como a quantidade de ordens de serviços é muito elevado como analisados nas tabelas 1 e 2.

Tabela 6 – Custos dos equipamentos do SCI

Equipamentos	Nº OS's	HH	Custos Totais
MB-0061-A	72	625,94	R\$ 529.103,40
MB-0061-B	88	1.220,76	R\$ 286.936,21
MB-0061-C	109	834,19	R\$ 77.338,50
Total Geral	269	2.680,89	R\$ 893.378,11

Fonte: Elaborada por autores (2021)

Os dados selecionados para estudos do SCI são de 2017 a 2020, compreendendo 4 anos. Nestes equipamentos a preditiva foi realizada até 2019, mas não era acompanhado por um centro de diagnóstico que aplicava de fato a engenharia de manutenção. Quando o CDM foi implementado, o SCI não foi incluso no seu acompanhamento, por ser um sistema auxiliar e só operar em caso de necessidade e de testes semanais. Na Tabela 7, são apresentados os dados de HH das manutenções corretiva, preventivas e preditiva com referência a cada ano, observa-se que o HH com manutenções corretivas é elevado, pois como abordados estes equipamentos não são de operação contínua. Durante a análise foi observado que os planos de

predictivas foram cancelados no final de 2019, o que explica a quantidade mínima de predictivas em 2020, e como resultado da aplicação de engenharia de manutenção, neste ano também houve para o SCI uma reorganização de planos e as atividades foram agrupadas em planos de manutenção com emissão de menos ordens por equipamento.

Tabela 7 – Dados da manutenção corretiva e predictiva do SCI

Ano	Corretiva	HH	Predictiva	HH	Preventiva	HH
2017	20	417,03	27	100,70	24	179,90
2018	15	399,49	27	4,95	44	190,57
2019	11	251,64	21	3,49	38	139,91
2020	13	818,96	2	10,31	27	163,95
Total Geral	59	1.887,12	77	119,45	133	674,33

Fonte: Elaborada por autores (2021)

A Tabela 8, apresenta os indicadores MTBF, MTTR e a disponibilidade dos três conjuntos motobombas e por ser um sistema de emergência que não opera de forma contínua o MTBF do conjunto MB-0061 B/C são baixos devido ao fato destes serem redundantes. Observa-se ainda que o MTTR do conjunto MB-0061-A é elevado, devido às falhas catastróficas que ocorreram na bomba, essas falhas são tratadas mais à frente.

Tabela 8 – Indicadores de confiabilidade do SCI

Equipamentos	MTBF	MTTR	Disponibilidade
MB-0061-A	149,75	111,25	57,38%
MB-0061-B	66,75	48,25	58,04%
MB-0061-C	104,30	47,61	68,66%
Total Geral	100,56	61,73	61,36%

Fonte: Elaborada por autores (2021)

Comparativamente podemos observar que os dados dos equipamentos monitorados pelo CDM são considerados adequados para um bom funcionamento, com ótima disponibilidade e consequente alta confiabilidade desses equipamentos, comprovando a importância da implementação de planos de preventiva e predictiva em equipamentos críticos da planta industrial.

A MB-0061-A é a principal do SCI, seu motor é elétrico, mais confiável em comparação com os motores a combustão das MB's-0061-B/C que são redundantes. Durante a análise das ordens corretivas nos três equipamentos foi comprovado que os motores a combustão são menos confiáveis e apresentam falhas diversas nos seus componentes como por exemplo: radiador, motor partida, bateria, bomba injetora, entre outros. A Tabela 10 e 11 apresentam os dados dos indicadores de falha dos motores e das bombas individualmente.

A Tabela 10, referente aos dados de confiabilidade das bombas, que são iguais, mostra que a bomba com maior MTBF é a B-0061-C, mas este dado por estar mascarado, visto que esta bomba é redundante e só entra em operação caso a B-0061-B não opere. A bomba C também tem baixo MTTR, ou seja, baixo tempo de reparo.

Tabela 10 – Indicadores de falha das Bomba do SCI

Bomba	MTBF	MTTR	Disponibilidade
B-0061-A	57,64	103,50	35,77%
B-0061-B	53,13	34,38	60,71%
B-0061-C	238,80	13,60	96,61%

Fonte: Elaborada por autores (2021)

Na Tabela 11, o motor elétrico M-0061-A tem um maior tempo em operação sem falhas quando comparado com os motores M-0061-B/C, comprovando com isso maior eficiência e confiabilidade de um motor elétrico frente ao de combustão. A sua simplicidade de operação também garante um baixo tempo de reparo em relação aos outros dois.

Tabela 11 – Indicadores de falha dos Motores do SCI

Motor	MTBF	MTTR	Disponibilidade
M-0061-A	581,50	150,00	74,63%
M-0061-B	75,83	57,50	56,88%
M-0061-C	66,94	57,06	53,99%

Fonte: Elaborada por autores (2021)

A bomba B-0061-A tem o segundo melhor tempo de operação, mas o pior em termos de tempo de reparo e com um custo muito elevado. A baixa disponibilidade da bomba B-0061-A é resultado de três grandes falhas consecutivas que aconteceram neste equipamento. Para estas falhas foi feita um estudo com o método FTA (Árvore de Falhas) no qual foram indicadas possíveis causas raízes dos problemas recorrentes. Tendo em vista que o conjunto A é o principal do SCI, deu-se a necessidade de realizar estudo específico a fim de buscar soluções para tornar este sistema de alta confiabilidade.

A primeira grande falha ocorreu em dezembro de 2018, levando um tempo de reparo de 31 dias. Foi realizado Análise de Árvore de Falha – FTA (APÊNDICE A) para identificar o que causou a falha e levou a B-0061-A a falhar. Após queda brusca na pressão de descarga, a bomba ficou incandescente e fumaçando, tendo como ação imediata seu desligamento. Após análise chegou-se ao seguinte resultado, a falha ocorreu devido a utilização de bomba inadequada para pressurização do SCI, devido falha na Bomba Jockey e instalação inadequada de abraçadeira na coluna de sucção da bomba gerando contaminação na caixa do mancal levando ao desgaste do rolamento com ruptura do eixo da bomba.

A segunda grande falha, ocorreu em julho de 2019, com um tempo de reparo de 514 dias e um custo de R\$ 478.693,07. Houve reparo e troca de peças diretamente feito pelo fabricante da bomba. A falha ocorreu durante operação de pressurização do SCI, sendo detectado incandescência no eixo da bomba B-0061-A, sendo necessária atuação da brigada de incêndio. A causa desse incidente foi identificada novamente como a utilização inadequada da bomba para pressurizar o SCI, que deveria ser feito pela Bomba Jockey e possível incompatibilidade do material do eixo com a água salgada por falha de projeto, o produto com o qual estes equipamentos trabalham na unidade. Foi realizada retirada do conjunto motor bomba para efetuar manutenção em oficina, realizada a desmontagem para avaliação do conjunto como um todo. O equipamento ainda desmontado foi enviado ao fabricante para realização de peritagem e nesta avaliação, o fabricante encontrou grande quantidade de craca marinha no interior e exterior das peças, com grande deterioração sendo necessário a substituição de vários componentes, que devido a salinidade local levou a tais desgastes. Após substituição dos componentes, a bomba foi reinstalada, testada e liberada para operação. Foi identificado através de Análise de Falha – FTA (APÊNDICE B), que uma das possíveis causas da falha que gerou ruptura do eixo foi o desgaste por água salgada.

A terceira grande falha ocorreu em abril de 2021, esta falha deixou a B-0061-A fora de operação até o momento. A bomba foi desarmada por ruído estranho, e na análise prévia do que ocorreu foi identificada ruptura de uma das luvas de conexão entre os eixos intermediários, novamente em decorrência da alta salinidade que levou a corrosão acentuada da luva do eixo da bomba. Foi feito um estudo molecular para identificar o material e sua compatibilidade com o fluido do processo, os resultados indicaram que é necessário substituir o material do eixo e acessórios (atualmente é o aço martensítico) que não é apropriado para trabalhar com cloretos. O fabricante indicou um novo material compatível (aço inoxidável duplex), mas este material é extremamente caro e não se encontra disponível de forma imediata no mercado, desta forma está sendo fabricado novo eixo com aço inoxidável austenítico 316L, que traz melhor resistência ao trabalho com água salgada. Para a terceira falha também foi feita Análise de Falha (APÊNDICE C), indicando que apesar de terem sido trocados diversos componentes da bomba, as causas raízes permaneceram inalteradas e causaram nova anomalia.

Todos os dados apresentados indicam a necessidade de melhor acompanhamento do SCI da planta. O monitoramento centralizado e rígido dos componentes de sistemas principais trouxe grande melhoria na disponibilidade destes equipamentos, esta melhora deve ser um

objetivo a se atingir no SCI, mesmo que ele não opere continuamente, é responsável pelo controle e eliminação de eventos de risco potencial auxiliando a manter a segurança das pessoas, do sistema e do meio ambiente.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Primeiro ponto a ser considerado é a maior confiabilidade do motor elétrico sobre o motor a combustão, visto que o segundo apresentou maior número de falhas e tempo de reparo comprometendo com isso a sua confiabilidade e disponibilidade no sistema SCI, que embora não opere continuamente é imprescindível que tenha bom funcionamento, pois é uma das garantias da segurança geral do terminal e seu entorno.

Comparando os equipamentos do SOP antes e após a implantação do CDM e melhoria do acompanhamento de manutenção neles, ficou comprovada a efetividade de tais planos na redução de falhas e, conseqüentemente, redução de corretivas, principalmente as não programadas, e de custos gerais de manutenção. Ao comparar os custos e disponibilidade dos equipamentos controlados pelo CDM e as bombas do SCI é justificável que deve existir um controle centralizado da disponibilidade das bombas do sistema, pois é um sistema crítico que impacta a segurança operacional.

Na análise das falhas apresentadas no intervalo escolhido, foi possível notar um grande número de falhas de motores a combustão, o que sugere que devem ser estudadas formas de modernizar estes equipamentos para que se tornem mais confiáveis. Outros pontos de falha estão relacionados a problemas com acessórios em geral, o que é justificável pelo tempo de vida das bombas e a sua exposição ao tempo e água salgada.

As falhas apresentadas na bomba A se mostraram decorrentes da soma de dois fatores: o uso inadequado do equipamento (que não é projetado para operação contínua) e falha de projeto, pois o eixo da bomba foi projetado com material inapropriado para operação em regiões de grande salinidade e contato direto com cloretos. A substituição por material indicado para o fluido de processo e a implantação e controle de planos de manutenção com controle criterioso podem reduzir tais danos.

Este trabalho sugere as seguintes melhorias:

- Modernização no projeto de construção de motores elétricos e a combustão instalados;

- Implantação de planos de manutenção com controle centralizado e engenharia de manutenção;

- Treinamento dos operadores do sistema para que sejam capazes de avaliar modificações de operação nele e adotem ações mitigadoras para possíveis riscos de operação inadequada.

Outro ponto de melhoria identificado, que já está em andamento, é a substituição do material do eixo em contato direto com a água salgada para um material mais adequado, reduzindo assim o seu fator desgaste caso venha ocorrer operação com maior tempo de duração. Este conjunto de ações tornará o SCI um sistema mais confiável e com melhor disponibilidade.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, p. 3. 1994.

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

KARDEC, Alan. NASCIF Júlio. **Manutenção: função estratégica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

NUNES, Roberto. **Cummins exhibe motor mais limpo do mundo**. 2019. Disponível em: <http://autosemotos.com/cummins-exibe-motor-mais-limpo-do-mundo/>. Acesso em: 23 ago. 2021.

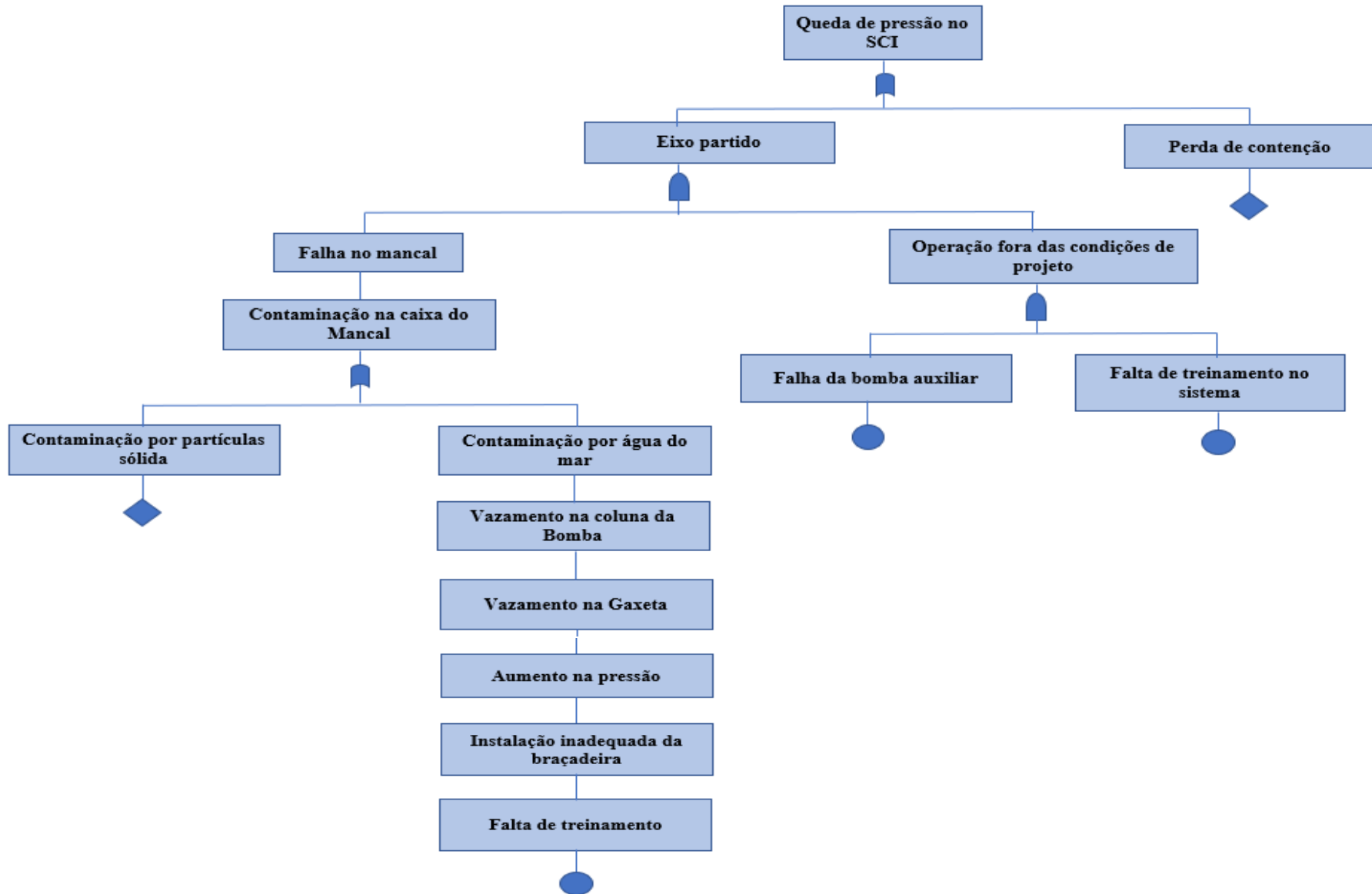
SITE ALIBABA. Disponível em: https://www.alibaba.com/product-detail/vertical-booster-fire-pump-fire-fighting_1124951064.html. Acesso em: 23 ago. 2021

SITE GNF Montagens. Disponível em: <http://www.gmfmontagens.com.br/servicos/hidrantes-e-sprinklers/5>. Acesso em 23 ago. 2021

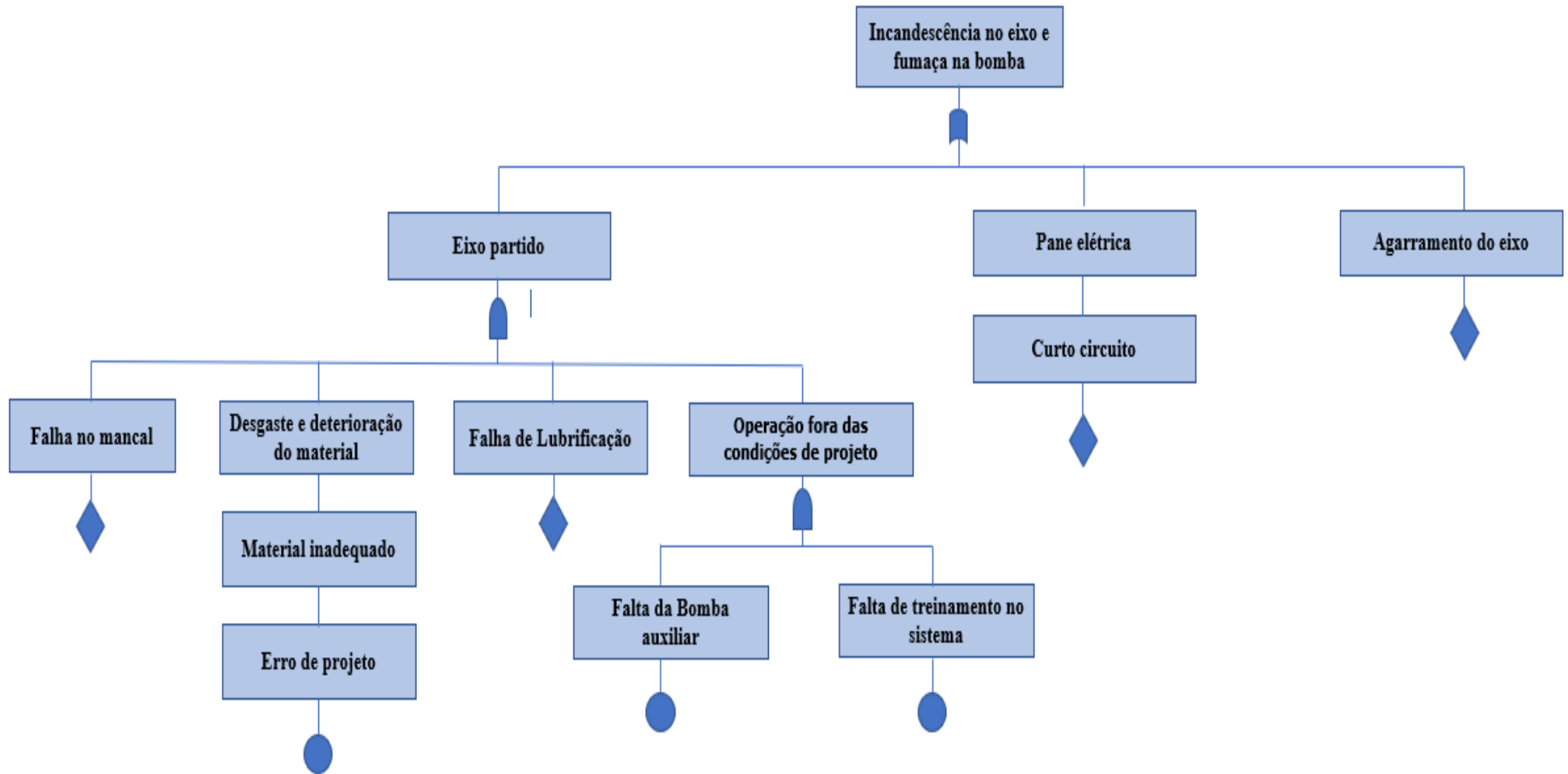
TILLMANN, Carlos Antonio da Costa. **Motores de combustão interna e seus sistemas**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Pelotas, 2013. Disponível em: http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifsul/tecnico_biocombustivel/motores_combustao_interna_e_seus_sistemas.pdf. Acesso em: 08 ago. 2021

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM: Planejamento e controle de manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.

APÊNDICE A – Árvore de falha da bomba B0061-A (Falha 1)



APÊNDICE B – Árvore de falha da bomba B0061-A (Falha 2)



APÊNDICE C - Árvore de falha da bomba B0061-A (Falha 3)

