

**CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC**  
**CURSO DE MBA EXECUTIVO EM GESTÃO DA MANUTENÇÃO**

**Aplicação de ferramenta de análise de falha em compressor de grande porte  
em uma refinaria de petróleo.**

Nilton de Jesus de Oliveira Júnior<sup>1</sup>  
Emerson Carlos Assunção Sanches<sup>2</sup>

**Resumo:** O presente artigo é um estudo de caso que tem como objetivo a elaboração de uma análise de falha através da aplicação da Análise por Árvore de Falha - FTA - *Fault Tree Analysis* em função da falha ocorrida em um conjunto formado por um compressor centrífugo e uma turbina a vapor. Foi realizada a análise do contexto e da condição dos equipamentos, identificando a situação original, elaboração de uma árvore de falha, identificação da causa raiz do evento e elaboração de plano de ação para atuar de maneira preventiva e evitar a ocorrência de novas falhas semelhantes. Em função do estudo da causa raiz e da implementação dos planos de ação, foi possível obter ganhos na confiabilidade do equipamento.

**Palavras-chave:** Análise de Falha, Árvore de falha, Confiabilidade, Turbo Máquinas, Engenharia de Manutenção.

**Abstract:** This paper consists a case study having as goal to make a fault-analysis applying FTA - Fault Tree Analysis about a fault occurs in a turbomachinery set formed by a centrifugal compressor and a steam turbine. Was made a context analysis based on equipment condition, identifying the situation to elaborate fault tree find the root causes and making an action plan to execute preventive actions and avoid new similar faults. Because of the study of root-causes and implementation of action plan on this article, was achieve reliability earns on the set.

**Key words:** Fault analysis, Fault-tree, Reliability, Turbomachinery, Maintenance Engineering.

---

<sup>1</sup> Autor: Engenheiro Mecânico, UFRB, [engniltonoliveira@gmail.com](mailto:engniltonoliveira@gmail.com)

<sup>2</sup> Orientador: Eng. Mecânico, Mestre em Mecatrônica – Professor Assistente, SENAI CIMATEC, [emerson.sanches@fiab.org.br](mailto:emerson.sanches@fiab.org.br)

## 1 INTRODUÇÃO

Em indústrias de processo químico, petroquímico e similares que trabalham com grandes pressões e vazões, os compressores centrífugos e alternativos, turbinas a gás e a vapor e turbo-expansores de grande porte, chamados de *Grandes Máquinas* possuem funções importantes nos processos produtivos, como é de conhecimento da comunidade profissional desse segmento. Bloch (2006), cita a aplicação destes equipamentos nos processos dos setores de petróleo & gás, química, petroquímica e siderurgia, como sendo equipamentos vitais para a produção.

Com base no exposto por Nóbrega (2011), pode-se afirmar a respeito de compressores centrífugos e alternativos, que esses equipamentos exigem confiabilidade operacional elevada e são responsáveis, em caso de falha ou por má gestão, por grandes prejuízos econômicos, ambientais, de segurança do ativo e do homem que opera e mantém. Do projeto e comissionamento até a operação e manutenção, estão envolvidas grandes cifras, investimentos volumosos e tecnologia para desenvolver, manter e operacionalizar estes equipamentos.

Em alguns casos, trata-se de máquinas de fabricação recente com projetos que contam com eficiência, instrumentação, automação e monitoramento online da condição. Em outra situação, podem ser equipamentos com algumas décadas de operação, com projetos que demandam ações de melhoria no que diz respeito a manutenibilidade e confiabilidade.

Em uma refinaria, localizada no estado da Bahia, na qual foi realizado o estudo, os equipamentos possuem características bem variadas, desde projetos da década de 50-60, que apesar de terem passado por algumas melhorias, possuem defasagem do ponto de vista tecnológicos quando comparados com os equipamentos mais novos, fabricados a menos de 15 anos.

As máquinas mais antigas têm apresentado falhas de maneira mais constante, reduzindo a confiabilidade operacional do sistema, causando perdas de produção e altos custos de manutenção.

De acordo com levantamento realizado, um dos equipamentos que apresentam maior número de falhas é o conjunto composto pelo compressor de propano e seu acionador, localizados em uma das unidades produtoras de parafina da planta.

Uma dessas falhas, ocorrida em novembro de 2021, tornou-se alvo do presente estudo.

O objetivo desse trabalho é, além de elaborar uma análise da falha ocorrida nesse compressor centrífugo, explorar o uso da ferramenta da Confiabilidade, a Análise por Árvore de Falha - FTA - *Fault Tree Analysis*, avaliando a aplicabilidade da ferramenta e sua contribuição para obtenção de uma melhor confiabilidade dos equipamentos dessa indústria de processos.

Para isso, é apresentado o trem de máquina<sup>3</sup> alvo do estudo, sendo feita uma análise do contexto, para em seguida aplicar a ferramenta para análise das falhas citadas no desenvolvimento do artigo. Ao final foi realizada a discussão a respeito dos resultados obtidos e considerações finais do trabalho.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Este estudo faz a análise de uma falha ocorrida em um compressor centrífugo acionado por turbina a vapor.

A análise foi realizada pelo setor de manutenção de equipamento dinâmicos da planta, formada por engenheiros e técnicos de manutenção, a partir das informações colhidas junto a operação e equipe de execução, tanto da mecânica quanto da instrumentação, em meados de novembro de 2021.

O equipamento trabalha comprimindo gás propano, utilizado como solvente no processo denominado “Desoleificação a Propano”, no qual ocorre a separação de óleo mineral base e parafina presentes do gasóleo oriundo do processo de destilação de petróleo. A unidade produtiva a qual o equipamento cumpre sua função, opera em regime contínuo, 24 horas por dia, e sua campanha é de 6 anos. Essa unidade possui capacidade de produção de 640 m<sup>3</sup>/dia de parafina (STELL, 2003, apud CORRÊA, 2009), tendo papel importante para abastecimento do mercado consumidor, justificando, portanto, a relevância do estudo.

Seguem informações da folha de dados na Tabela 1:

Tabela 1 – Folha de dados Compressor/Turbina

Informação	Valor	Unidade de medida
------------	-------	-------------------

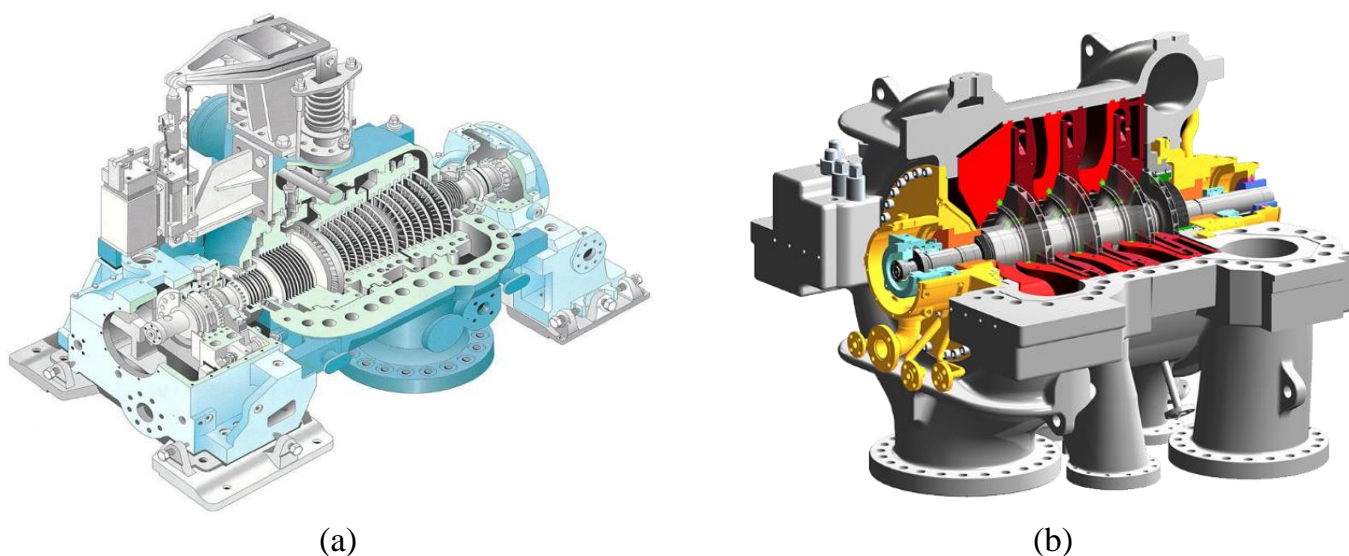
<sup>3</sup> Conjunto formado pelo equipamento do processo e seu acionador

Compressor	Número de impelidores	3	Um
	Vazão de sucção	6340	CFM
	Pressão de sucção	71	PSIA
	Pressão de descarga	256	PSIA
Turbina	Rotação nominal(projeto)	8500	RPM
	Potência	4025	HP
	Pressão de vapor ativo	575	PSIA
	Pressão de vapor exausto	-3,5	InHG

Fonte: Adaptado de ELLIOTT (1966)

De maneira ilustrativa, são apresentadas as Figuras 1a e 1b, imagens de equipamentos semelhantes aos instalados na refinaria. Trata-se de uma turbina a vapor de condensação e um compressor centrífugo multiestágios, com bipartição horizontal.

Figura 1 - (a) Turbina a vapor de condensação (b) Compressor centrífugo com bipartição horizontal



Fonte: CAMPOS (2015) (a) e ELLIOTT GROUP (2014) (b)

Para investigar as causas dessa falha foi escolhida o FTA. Foi feita a conceituação da ferramenta, contextualização dos equipamentos, apresentação da falha para, finalmente, aplicar o FTA.

## 2.1 Definição da falha

Primeiramente deve ser definida a falha, que segundo Lafraia (2014) é o evento no qual o equipamento fica impedido de exercer sua função requerida, esse será o evento-topo da árvore, que foi o alto consumo de óleo que impedia a operação do

equipamento. Já que durante o período de realização do presente trabalho, o equipamento passou por esse evento, que impediu seu retorno a operação, ou seja, houve a perda da função requerida: falha.

Esse conjunto falhou em novembro de 2021, quando, após um evento de desarme, por ação do sistema de intertravamento de segurança. Após essa ocorrência, o consumo de óleo alcançou valores que impediam o acionamento em condições seguras. Além disso, a parada desse trem de máquina impede a operação da unidade da qual ele está instalado, gerando, portanto, perdas de produção.

O compressor desarmou devido a atuação do sistema de intertravamento de segurança pelo baixo diferencial de pressão óleo/gás na selagem. Momentos antes desse evento estava sendo realizada manobra de permuta das bombas de óleo para cumprimento de rodízio. Foi feita a investigação das causas do desarme.

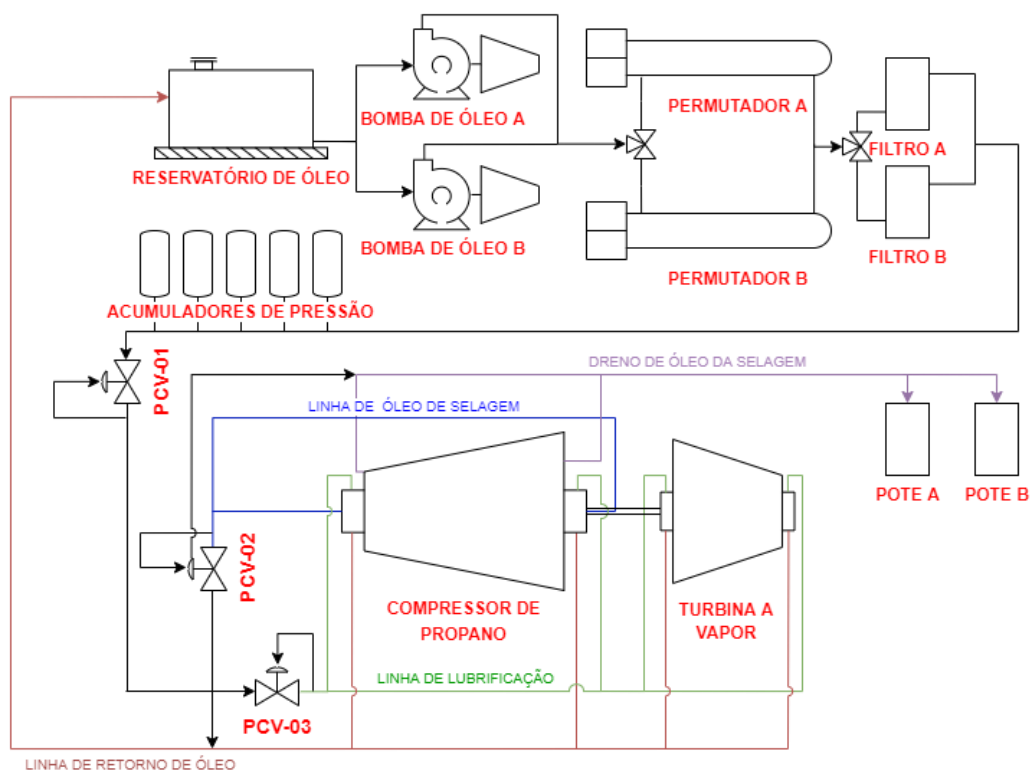
Analisando o contexto e a condição da máquina antes da ocorrência da falha, que ocorreu em novembro de 2021, foram feitas as seguintes observações:

O conjunto operava dentro dos padrões de vibração, deslocamento axial e temperatura de mancais. O óleo, porém, apresentava contaminação por presença de água, sendo necessária uma rotina diária de drenagem no reservatório e, além disso, havia um consumo exagerado de óleo, na faixa dos 200 litros por dia. Esse mesmo nível de consumo seria aceitável para um período de 30 dias, de acordo com histórico do equipamento.

## **2.2 Análise do sistema de selagem do compressor**

Como a falha ocorrida tem relação com o sistema de selagem do equipamento, é necessário analisar mais a fundo esse sistema. Essa compreensão é de suma importância para o entendimento dos eventos. A Figura 2 abaixo ilustra o diagrama do sistema de óleo de lubrificação dos mancais (turbina e compressor) e selagem do de produto.

Figura 2 - Diagrama do sistema de óleo de lubrificação e selagem



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Como pode ser visto na Figura 2, o sistema de lubrificação conta com duas bombas de óleo acionadas por turbinas a vapor, sendo uma considerada titular e a outra reserva. Quando bombeado, o óleo passa por um dos permutadores de calor e por um dos filtros na sequência. A linha também possui cinco acumuladores de pressão que servem para manter a pressão do sistema no caso de alguma eventual queda de pressão desse header. A jusante dos acumuladores está instalada uma válvula de controle de pressão (PCV-01) responsável por controlar o fluxo no restante da linha.

A jusante da PCV-01, existem duas derivações (, uma para o óleo de selagem do compressor e outra para lubrificação dos mancais do compressor e da turbina. Ambos os sistemas possuem válvula de controle de pressão a jusante dos equipamentos (PCV-02 e PCV-03, respectivamente).

Destaca-se, a respeito ao funcionamento dos selos mecânicos do compressor, que são selos lubrificadas onde o óleo também cumpre o papel de fluido de barreira, sendo necessário estabelecer um diferencial de mínimo entre a pressão de óleo no selo e o gás da câmara de selagem para garantir uma estanqueidade adequada.

Voltando ao contexto da condição do equipamento, foi observado também que não haviam vazamentos (nas linhas de óleo, os parâmetros de pressão de óleo nos mancais e diferencial de pressão da selagem estavam dentro dos padrões.

Foi apontado como possível causa desse alto consumo, a passagem de óleo pela selagem do compressor, podendo ser pelas vedações secundárias dos selos mecânicos ou pelas vedações primárias.

Em contato com a equipe da operação, o grupo foi informado de que o óleo retirado da parafina no processo estava apresentando uma coloração mais escura, o que seria um indício de que o óleo de barreira do sistema de selagem estava vazando e invadindo a carcaça do compressor, contaminando o gás. É importante salientar que essa condição não afetava a especificação da parafina.

Em contato com a equipe de manutenção da instrumentação, foi apurado que não haviam problemas relacionados as válvulas de controle de pressão das linhas de óleo, do sistema de lubrificação dos mancais e de selagem.

O consumo elevado de óleo não estava impedindo a operação o equipamento, e devido a necessidade de atender ao processo produtivo, ficou decidido que o equipamento seguiria sendo monitorado através da avaliação diária e deveria ser realizada uma intervenção para revisão dos selos mecânicos durante a parada de manutenção da unidade, prevista para abril de 2022.

Após essa descrição do contexto, é iniciada a elaboração da análise, mas passando antes por uma necessária definição dos conceitos relacionados a ferramenta escolhida para análise: FTA.

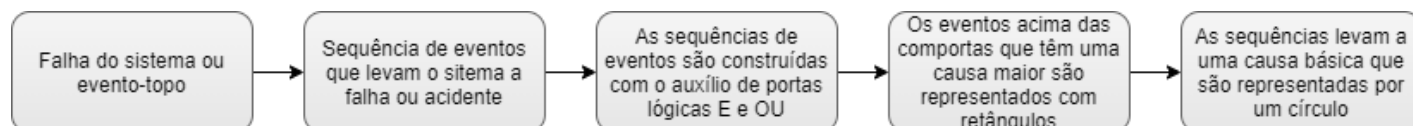
### **2.3 Aplicação da ferramenta de análise**

A FTA é comumente aplicada para definir causas básicas de falhas ocorridas tanto em equipamentos como sistemas, podendo ter eventos associados de componentes, erro humano, falhas do sistema, erros de projetos, por exemplo. Ela nada mais é do que um modelo gráfico, que através do desmembramento de uma árvore lógica numa sequência de eventos que podem resultar na ocorrência da falha que é ilustrada na cabeça da árvore. (AMBERKAR et. al., 2001, apud YAMANE et al, 2007).

É um método dedutivo e estruturado que pode ser uma análise qualitativa quando se decide determinar causas básicas de um evento, ou quantitativa quando o objetivo é determinar a probabilidade da ocorrência dele. (LAFRAIA, 2014).

A estrutura fundamental para elaboração de uma árvore de falha qualitativas, pode ser resumida no Figura 3 abaixo:

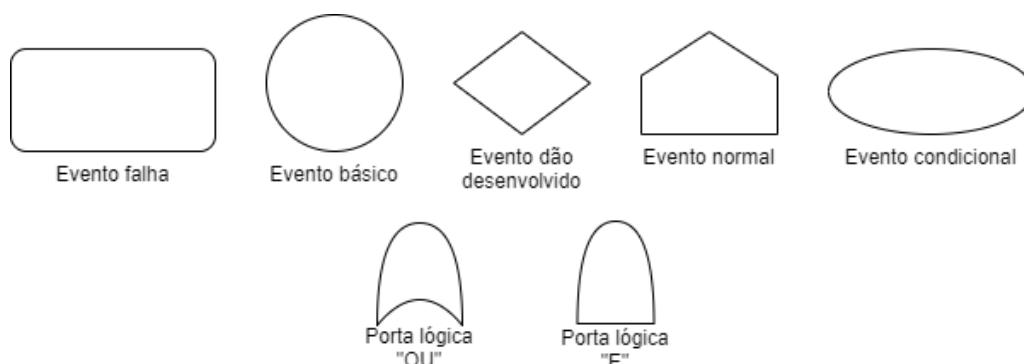
Figura 3 – Estrutura fundamental da FTA



Fonte: Adaptado de LAFRAIA (2014).

Já a simbologia para caracterização de eventos e portas lógicas seguem na Figura 4.

Figura 4 – Simbologia utilizada na FTA



Fonte: Adaptado de LAFRAIA (2014).

No caso das portas lógicas, têm-se “E”, para o caso de eventos que ocorrem simultaneamente. No caso de “OU”, quando um evento ou outro ocorre de maneira independente.

Após explanação sobre essas premissas, foi então iniciada a análise.

Foi detalhada a sequência de eventos que levaram o sistema a falha.

É importante salientar que essa manobra de permuta das bombas era comumente feita justamente para testar a bomba de óleo reserva e não costumava ocorrer problemas na execução da manobra operacional.



Ao avaliar tendências dos parâmetros de pressão da linha de óleo de lubrificação, não foi detectada queda de pressão próximo aos sets de *trip* (*desarme*)

Não foi possível determinar motivo do desarme pela análise da tendência dos instrumentos no programa que indica histórico dos instrumentos e sensores. A instrumentação não sinalizou a existência de sensores em falha. Porém, conforme aponta o software auxiliar que serve como banco de dados de alarmes do sistema de intertravamento, o *trip* se deu por baixo diferencial de pressão óleo/gás na selagem, por ter alcançado o valor inferior a 1 kgf/cm<sup>2</sup>. Tem-se, portanto, que esse foi o motivo do desarme do compressor.

Avaliando as causas, cogitou-se a execução ou descrição dos passos no procedimento da manobra de permuta entre as bombas. Em entrevista com operação, constatou-se que a operação foi realizada conforme procedimento, porém foi visto que o procedimento carece de revisão de forma a tornar a descrição das etapas mais claras. Esta foi, portanto, tratada como uma causa contribuinte para a ocorrência.

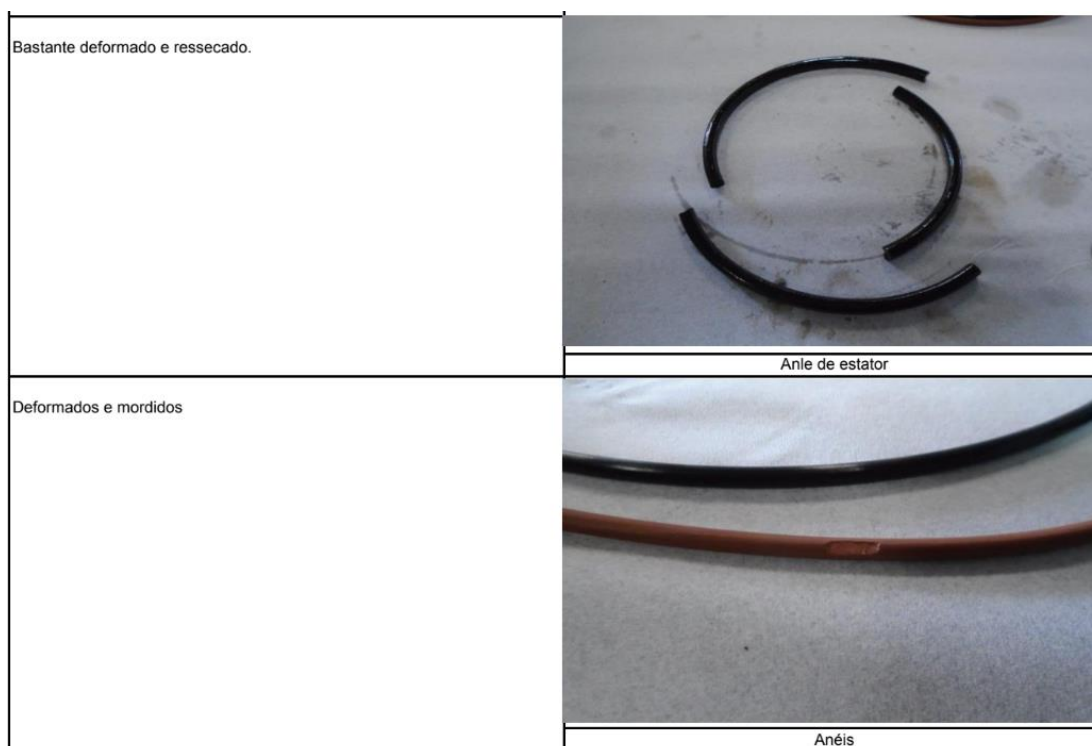
Outro ponto levantado foi a atuação dos acumuladores de pressão da linha, que servem para manter a pressão do *header* no caso da ocorrência da perda de pressão, no caso de perda de uma das bombas de óleo, por exemplo. A linha de óleo conta com cinco acumuladores que deveriam ter atuado de forma a manter a pressão. Foi verificado que estavam descalibrados. Foi entendido, portanto que a não atuação dos acumuladores, devido a descalibração deles.

Após esse desarme, foram realizadas duas tentativas de partida, porém o consumo de óleo aumentou de maneira significativa, alcançando os 3.000 litros em um dia, somente com a bomba acionada. Quando o compressor foi acionado, o alto consumo se manteve.

Após análise foi decidido que seria necessário realizar a revisão da selagem do compressor.

Durante execução do serviço, não foram vistos danos nas sedes do selo mecânico que justificasse tal consumo. Algumas vedações secundárias do selo mecânico do lado acoplado, estavam danificadas, o que justifica uma perda de óleo, porém, se mostra incompatível com o consumo que foi visto após o *trip*, como pode ser visto em trecho do relatório de desmontagem do fabricante dos selos, conforme Figura 5:

Figura 5 – Fotos da desmontagem do selo mecânico



Fonte: Relatório FLOWSERVE (2021)

Finalizada a revisão da selagem, no processo de partida, o sistema apresentou novamente alto consumo com o acionamento da bomba de óleo do sistema.

Após análise, apontou-se para um possível vazamento pelo diafragma da PCV-02, visto que havia um nível alto nos potes de descarte de óleo contaminado. Logo em seguida ela foi desmontada e foi constatado que o diafragma estava furado e gerando, conseqüentemente essa perda de óleo.

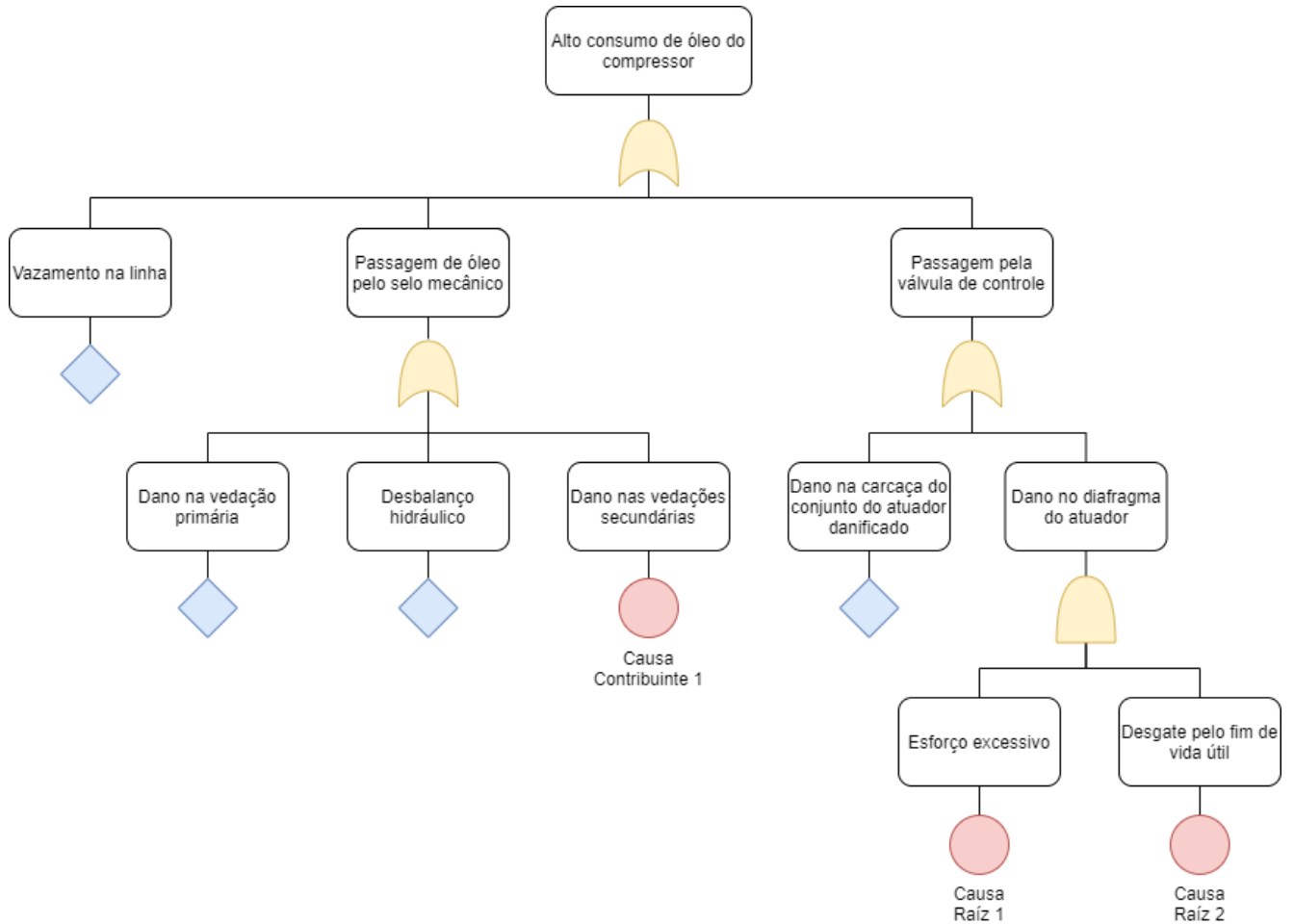
Após substituição do componente, o sistema não apresentou mais o alto consumo e o compressor passou a operar de maneira estável.

Entende-se como explicação para o ocorrido que no momento em que houve a queda de pressão no header, a válvula, que fica a montante do compressor, atuou bruscamente, para posição de totalmente aberta, para aumentar a pressão de óleo da selagem e isso pode ter causado um dano no diafragma e percebe-se também que o componente já possuía desgaste pelo seu ciclo de vida útil, visto que o esperado é que o diafragma suporte a força devido ao movimento do atuador.

Baseado nessa sequência de eventos, foi elaborada a árvore da Figura 6, na qual os eventos foram representados com retângulos e a sequência lógica foi construída com o auxílio das portas lógicas “E” e “OU” em amarelo e as causas foram

representadas com os círculos vermelhos. A árvore de falha pode ser visualizada a seguir:

Figura 6 - Análise de falha - Alto consumo de óleo do compressor



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

A representação gráfica da análise apresenta os eventos sequenciados de maneira lógica, conforme manda metodologia da ferramenta. Os eventos que foram identificados, sem ter contribuição real para a falha, não foram desenvolvidos, como indica o losango logo abaixo do evento. O passo seguinte foi, com base da árvore, identificar a causa-raiz.

## 2.4 Identificação de causas-raiz

Com base da avaliação da árvore de falha e da sequência dos eventos, entende-se que a causa raiz foi o esforço excessivo no diafragma da válvula de controle devido a atuação abrupta da haste aliada ao desgaste do material do diafragma da válvula.

Um dano na carcaça do atuador da válvula foi descartado, já que nada foi detectado nesse componente na inspeção durante a desmontagem da válvula.

Com relação aos danos constatados nas vedações secundárias do selo, foram considerados uma causa contribuinte, visto que apesar da passagem do óleo, não era suficiente para impedir a operação do equipamento. Prova disso é que, antes da ocorrência da falha, o compressor operou durante alguns meses com o consumo na faixa dos 200 litros por dia.

Como não foram constatados defeitos nas sedes dos selos mecânicos, também foi descartado a ocorrência de danos nas sedes primárias de vedação. Assim como o desbalanço hidráulico também foi desconsiderado, visto que os valores das pressões de óleo e gás não estavam fora dos valores históricos do equipamento.

O vazamento de óleo na linha também foi um evento não-desenvolvido, já que isso também não foi constatado.

## 2.5 Elaboração de plano de ação

Como parte da aplicação da ferramenta, é também necessário elaborar um plano de ação para atuar de maneira a sanar os problemas e prevenir futuras falhas. Por isso, foi construído o plano de ação da Figura 7 abaixo:

Figura 7 – Plano de ação

Item	Ação	Prazo	Responsável
1	Revisar selos mecânicos	Ação imediata	Manutenção - Mecânica
2	Substituir do diafragma da válvula de controle	Ação imediata	Manutenção - Instrumentação
3	Incluir escopo de revisão das válvulas de controle do sistema de lubrificação e selagem do compressor nas paradas de manutenção	30 dias	Manutenção - Instrumentação
4	Elaborar plano de manutenção preventiva para válvulas de controle de pressão de sistemas de lubrificação	60 dias	Manutenção - Instrumentação
5	Revisar procedimento de manobra de teste de bombas de óleo	60 dias	Operação

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Além das ações imediatas de revisão da selagem do compressor e substituição do diafragma da válvula de controle de pressão do header de óleo de selagem, foram definidas como ações corretivas a inclusão de um escopo de revisão das válvulas de controle do sistema de lubrificação do compressor nas paradas de manutenção e a adoção de uma política de manutenção preventiva para válvulas do sistema. Outro ponto relevante é a revisão do procedimento dos testes de bombas de óleo.

## 2.6 Discussão dos resultados

As análises feitas mostraram a aplicabilidade da metodologia FTA. Chegou-se as causas básicas e foram definidas ações corretivas, visando, portanto, o objetivo do corpo técnico de uma empresa ao aplicar esse tipo de análise: evitar novas falhas.

Destaque-se que houve uma dificuldade em separar os componentes dos selos mecânicos do estoque para realização da revisão. Além da documentação ser antiga, as referências no sistema ERP<sup>4</sup> da empresa não era claro na descrição dos itens. Como lição aprendida e oportunidade de melhoria, foi solicitada ao fabricante dos selos mecânicos a atualização dos desenhos e elaboração de um kit para reparo contendo sede rotativa, sede estacionária, anel de carvão flutuante, molas, chaveta anti-rotacional, pino e vedações secundárias. Com isso será possível ter todos os itens de uso certo numa revisão dos selos do compressor em um único item de estoque ainda que o selo seja do tipo componente, facilitando o controle e evitando esse gargalo durante uma preparação de futuras manutenções.

Além disso, por conta do serviço realizado, foi retirada do escopo da parada de abril de 2022 a revisão da selagem do compressor. Oferecendo um ganho, visto que o escopo estava sendo reduzido.

## 3 CONCLUSÃO

Pode-se concluir, ao final do artigo que a ferramenta FTA foi adequada nessa avaliação para esse compressor já que nesse estudo foi possível avaliar a causa da falha pelo alto consumo de óleo que indisponibilizava a máquina de maneira objetiva e efetiva. Isso mostra porque a análise por árvore de falha possui grande relevância na análise desse tipo de evento e grande aplicabilidade na indústria de processos.

Outra questão importante foi a elaboração do plano de ação. E o que se espera na execução dele é a obtenção de um nível de confiabilidade mais satisfatório para o equipamento, já que de nada adianta fazer esse tipo de análise se não houver um trabalho de prevenção de novas falhas ou mitigação de efeitos.

---

<sup>4</sup> Enterprise Resource Planning - Planejamento de Recursos Empresariais, em tradução livre. Um sistema ERP nada mais é do que um sistema integrado de gestão empresarial

Como sugestão de trabalhos futuros, pode-se realizar propostas de boas práticas a nível de gestão desse tipo de equipamento, contemplando itens como o dimensionamento e treinamento das equipes de trabalho da engenharia de manutenção, estratégia de sobressalentes, gestão da mudança, projetos de melhoria e acompanhamento de performance.

O trabalho foi realizado e ficaram lições importantes. Além da prática da aplicação do FTA, o senso crítico necessário para esse tipo de análise e a necessidade de pensar “fora da caixa” muitas vezes.

## REFERÊNCIAS

AMBERKAR, S; CZERNY, B.J.; D`AMBROSIO, J.G.; DEMERLY, J.D.; MURRAY, B.T.A. **Comprehensive Hazard Analysis Technique for Safety-Critical Automotive Systems**. SAE 2001 World Congress, Michigan, 2001.

BLOCH, Heinz P. **A practical guide to compressor technology**. 2 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006.

CAMPOS, Marcio. **Turbinas de Vapor - Cogeneración en Proyectos Industriales**. In: Congresso Regional de Energía. II, 2015, San Salvador. Anais Eletrônicos. São Paulo: Siemens, 2015.

CORRÊA, Johny Soares. **Parque industrial de refino no Brasil: características atuais e perspectivas**. Rio de Janeiro: UFRJ, Escola de Química, 2009.

ELLIOTT. **Instruction book information: SBPG-5 Turbine**. Elliott Group, Jeannette, 1966.

ELLIOTT. **Instruction book information: 38M-3 Compressor**. Elliott Group, Jeannette, 1966.

ELLIOTT GROUP. **Compressor Upgrades Available from Elliott**. Elliott Group, Jeannette, 2014. Disponível em: <<https://www.http://www.elliott-turbo.com/TechnicalUpgrades.html>>. Acesso em: 15 de mar. de 2022.

FLOWSERVE. **LAUDO TÉCNICO No 527/21**. Lauro de Freitas: Flowserve, 2021.

FLOWSERVE. **LAUDO TÉCNICO No 528/21**. Lauro de Freitas: Flowserve, 2021.

LAFRAIA, João Ricardo B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora: Petrobras, 2014.

NÓBREGA, Paulo Roberto Leite. **Manutenção de compressores alternativos e centrífugos**. Rio de Janeiro: Synergia: IBP, 2011.

PAIXÃO, João Guilherme Monteiro. **Turbocompressores**. Macaé: Petrobras, 2016.

STELL, J. 2003. **Worldwide construction update**. Oil and Gas Journal: 2003.

VALADÃO, Cleuber Pozes. **Noções de Compressores**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2009.

YAMANE, Alexandre K.; DE SOUZA, Luiz Gonzaga Mariano. **APLICAÇÃO DO MAPEAMENTO DE ÁRVORE DE FALHAS (FTA) PARA MELHORIA CONTÍNUA EM UMA EMPRESA DO SETOR AUTOMOBILÍSTICO**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. XXVII. Foz do Iguaçu, 2007.