



**SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL
FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI - CIMATEC
MBA EM GESTÃO DA MANUTENÇÃO**

JÉSSICA AMORIM NERI

**UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA ÁRVORE DE FALHA PARA
IDENTIFICAR AS POSSÍVEIS CAUSAS DE TRIP DE TURBINA**

Salvador

2017

JÉSSICA AMORIM NERI

**UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA ÁRVORE DE FALHA PARA
IDENTIFICAR AS POSSÍVEIS CAUSAS DE TRIP DE TURBINA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de pós-graduação do MBA em Gestão da Manutenção da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC como requisito final para obtenção do título de especialista.

Orientadora: Prof^a. M.Sc. Marinilda Lima

Salvador

2017

UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA ÁRVORE DE FALHA PARA IDENTIFICAR AS POSSÍVEIS CAUSAS DE TRIP DE TURBINA

Jéssica Amorim Neri¹

Marinilda Lima Souza²

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo utilizar a ferramenta árvore de falha para identificar as causas básicas que levou ao trip da turbina a vapor, ou seja, o desligamento da máquina. Esta técnica possibilitou verificar que o motivo da parada do equipamento foi causado pela formação de condensado na caixa de mancal. Sendo assim, recomendou-se manter a temperatura dos mancais da turbina entre a faixa de 60 a 68°C. Essa ação foi adicionada ao plano de manutenção preditiva do equipamento e multiplicada por toda a equipe através do treinamento no local de trabalho. Por intermédio dessa ferramenta de manutenção foi possível detectar o que ocasionou a falha, determinando ações que mitiguem a reincidência desse evento, garantindo, assim, a confiabilidade operacional do sistema produtivo.

Palavras-chave: Manutenção; Turbina; FTA, Falha; Causa.

1 INTRODUÇÃO

A qualidade da manutenção é alcançada por meio do uso de recursos adequados, dentre eles, os sobressalentes e mão de obra capacitada como afirma Nóbrega (2011). Além disso, no contexto de uma planta operacional, que tenha como acionador mecânico as turbinas, é possível utilizar ferramentas de manutenção para auxiliar na identificação de suas falhas. Visto que, para todos os

¹ Pós Graduada MBA Gestão da Manutenção- Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, E-mail: jessica.amorimneri@gmail.com

² Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial. Pesquisa e docência. Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec. E-mail: marinilda.lima@fieb.org.br.

tipos de falha existe uma causa (origem) então, é necessário analisar os aspectos que influenciam o desempenho operacional do equipamento que são eles: serviços de manutenção anteriores, recursos utilizados na manutenção, modo de operação da turbina, sistemas auxiliares e mudanças no ambiente.

Quando uma equipe de manutenção utiliza a ferramenta de árvore de falha, está praticando a Engenharia de Manutenção. Esta técnica, basicamente, identifica a causa do problema e sugere uma ação de bloqueio para solucionar os problemas que influenciam negativamente na confiabilidade de ativos e instalações.

De acordo com Beneduzzi (2012) as turbinas a vapor são equipamentos de extrema importância para indústrias de petróleo e gás, devido sua grande capacidade de geração de energia cinética para acionamento de compressores e geradores de energia elétrica. Os custos de manutenção, formação de verniz no sistema de óleo, disponibilidade e a confiabilidade operacional são algumas das preocupações mais importantes que se deve ter com uma turbina a vapor, neste sentido, é de grande importância a utilização de técnicas, ferramentas e metodologias de análise de falhas no intuito de garantir a disponibilidade bem como, melhoria da confiabilidade operacional das turbinas a vapor.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo mostrar a relevância que a utilização da ferramenta árvore de falha (FTA) dispõe para identificar as possíveis causas que levaram ao trip da turbina e elaborar recomendações que visem mitigar a reincidência desse evento, melhorando, assim, a confiabilidade operacional do sistema produtivo.

2 GESTÃO DA MANUTENÇÃO

Consoante a NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade (1994) a manutenção é definida como a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de gestão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. Indo ao encontro de tais constatações, Kardec e Nascif (2009) destacam que a missão da manutenção é garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo adequado.

São diversos os tipos de atividades da manutenção, que podem incluir as atividades relacionadas com simples reparos, prevenção, bem como, o tratamento de falhas: detecção, investigação das causas fundamentais e estabelecimento de contramedidas para sua reincidência (XENOS, 2014).

Segundo Kardec e Nascif (2009) a análise das Causas Raízes de Falha (Root Cause Failure Analysis - RCFA) é um método ordenado de busca das causas de problemas e determinação de ações apropriadas para evitar que o mesmo volte a acontecer. Além de ser um exercício bastante rigoroso de investigação, é relativamente fácil quando comparado a outros processos de análise de falha.

Para Affonso (2012) os principais objetivos da análise de falha são: aumentar a confiabilidade operacional da planta, o que é feito aumentando-se a disponibilidade dos equipamentos; reduzir os custos de manutenção e reduzir os riscos de acidentes pessoais ou com equipamentos e de agressão ambiental. Ainda conforme o autor, esses propósitos são atingidos quando é possível evitar novas falhas. Neste sentido, a investigação a respeito das falhas deve determinar as causas básicas da falha e essa informação deve ser utilizada para permitir ações corretivas que impeçam a repetição do problema.

Assim, sabendo da importância das ferramentas de análise de falha para garantia da confiabilidade operacional do sistema produtivo, este trabalho investiga a utilização destas ferramentas em uma turbina a vapor instalada em uma planta de produção de amônia em uma indústria do complexo petroquímico do estado da Bahia.

3 TURBINAS

A turbina a vapor é uma máquina motriz que transforma a energia térmica contida no vapor, primeiro, em energia cinética e, em seguida, em energia mecânica de rotação no eixo da turbina, que é conectado à máquina acionada (LIMA, 2006). O elemento básico da turbina é a roda ou rotor, que conta com paletas, hélices, lâminas ou cubos colocados ao redor de sua circunferência, de forma que o fluido em movimento produza uma força tangencial que impulsiona a roda, fazendo-a girar (JUNIOR, 2002).

Atualmente, esse equipamento é um acionador primário largamente empregado para transformar a energia liberada pela queima de um combustível em trabalho de eixo. Essa posição de destaque decorre das suas características termodinâmicas e mecânicas (GODOY, 1994).

Como destacou Junior (2002), uma máquina motora a vapor tem como objetivo transformar a energia, contida no fluxo contínuo de vapor, em trabalho mecânico. Baseado na 2ª Lei da Termodinâmica, o autor (2002) afirma que somente parte da energia contida no vapor que chega a máquina poderá ser convertida em trabalho; a parte restante da energia, que não pode ser transformada em trabalho, permanece no vapor descarregado pela máquina.

A energia é, em muitos casos, simplesmente rejeitada para o ambiente, em um condensador; em outras situações, é possível aproveitar o vapor descarregado pela máquina para fins de aquecimento (JUNIOR, 2002).

Sendo assim, Godoy (1994) ressaltou que do ponto de vista termodinâmico, o ciclo térmico a vapor, apresenta rendimentos globais bastante satisfatórios nas turbinas a vapor, quando comparado com os rendimentos globais dos ciclos de outras máquinas térmicas, como a turbina a gás ou o motor de combustão interna.

Do ponto de vista mecânico, por ser uma máquina rotativa pura, ou seja, a força acionadora é aplicada diretamente no elemento rotativo da máquina. Como as partes móveis da turbina são todas puramente rotativas, seu balanceamento é mais fácil, resultando em um funcionamento extremamente suave da máquina, com um nível de vibração baixo (GODOY, 1994).

O trabalho mecânico realizado pela máquina pode ser o acionamento: de um gerador elétrico, um compressor, uma bomba, um ventilador (Junior, 2002).

4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada no estudo de caso foi à análise de árvore de falha (Fault Tree Analysis - FTA). De acordo com Palady (2011) a análise de árvore de falha é uma ferramenta gráfica que proporciona uma avaliação profunda de uma única falha, ou modo de falha, conhecida como “evento principal”. Segundo Shinzat (2016) a análise por árvore de falha consiste de um processo lógico dedutivo que, partindo de um evento indesejado pré-definido (hipótese acidental), busca as suas possíveis causas. Para a autora (2016) o processo segue investigando as

sucessivas falhas dos componentes até atingir as chamadas falhas (causas básicas).

Nas análises de falhas, Batista, Gomes e Baltazar (2012) destacam que onde há o desdobramento da falha de cima para baixo, é conhecido como top down. A estrutura da FTA, além de identificar as interações do sistema, também é acrescida de operadores lógicos e símbolos. Os operadores podem ser do tipo “OU” ou do tipo “E”. O operador do tipo “OU” é utilizado, quando analisando o processo percebe-se que a ocorrência isolada de qualquer um dos eventos básicos resulta na ocorrência do evento de topo. O operador do tipo “E” por sua vez, é utilizado quando se percebe que a ocorrência do evento de topo é gerada pela ocorrência de um evento básico em concomitância com outro evento básico ou mais eventos. É ideal acrescentar uma legenda à árvore de falha para que fique mais fácil sua interpretação.

5 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso ora apresentado foi elaborado em uma indústria do setor petroquímico no estado da Bahia. O equipamento estudado é uma turbina condensante (pressão de descarga inferior à pressão atmosférica) e está inserida em uma planta de produção de amônia, onde há um excedente de vapor. O equipamento recebe o vapor de média pressão (42 kg/cm²) e envia para o condensador de superfície (vácuo).

A turbina atua como o principal acionador, porém possui um sistema redundante uma vez que, em caso de trip (parada do equipamento), o motor era acionado automaticamente.

A Tabela 1 a seguir dispõe de informações como: data do evento, tipo de manutenção, parte do equipamento, causa e operações realizadas; baseadas nos relatórios de manutenção. As ocorrências são do período entre 31/10/2011 e 12/05/2014 e foi possível constatar a recorrência de manutenções corretivas nas caixas de mancal tanto do lado acoplado (LA), quanto do lado oposto ao acoplamento (LOA) da máquina, com a consequente substituição dos mancais devido à formação de condensado na caixa dos mancais contaminando o óleo lubrificante.

Tabela 1. Relatórios de Manutenção

Data	Tipo de Manutenção	Parte do equipamento	Causa	Operações realizadas
31/10/2011	Corretiva	Caixas de mancal	Falha nos mancais	Substituição dos mancais
10/04/2012	Corretiva	Caixas de mancal	Contaminação no óleo na caixa de mancal pela água	Substituição dos mancais
02/05/2012	Preventiva	Caixas de Mancal	Contaminação no óleo na caixa de mancal pela água	Recuperação da caixa de mancal; Substituição dos mancais.
04/06/2013	Corretiva	Caixas de Mancal	Contaminação no óleo na caixa de mancal pela água	Definição do nível de óleo das caixas dos mancais; Substituição dos mancais
24/03/2014	Preditiva	Caixa de Mancal LOA	Vibração elevada	Abriu uma OS (ordem de serviço)
12/05/2014	Corretiva	Mancais	Travamento do rotor da turbina	Remoção da turbina do campo; Desmontagem das caixas de mancal; Elaboração da árvore de falha.

Fonte: elaborada pela autora (2017)

De acordo com o relatório de manutenção de 12/05/2014, o rotor da turbina encontrava-se travado em campo, antes mesmo que a intervenção programada fosse efetuada, assim, a turbina foi removida do campo e encaminhada para a oficina, onde foi realizada a desmontagem das caixas de mancais LA e LOA.

Durante a inspeção, ao efetuar a abertura da tampa do rolamento, do lado acoplado da máquina, notou-se um acúmulo de óleo e condensado misturados. Por conta desse acúmulo, o óleo lubrificante do mancal não estava chegando aos rolamentos autocompensadores de esfera o que pode ter acarretado a falha dos rolamentos. A Figura 1 a seguir ilustra os rolamentos autocompensadores de esfera danificados.

Figura 1. Rolamentos autocompensadores de esfera danificados



Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Na continuidade da inspeção, ao abrir o lado não acoplado da turbina, constatou-se que o rolamento rígido de esfera se encontrava com falha na gaiola. A Figura 2 mostra o desgaste na gaiola.

Figura 2. Falha na gaiola do rolamento rígido de esfera



Fonte: Elaborado pela autora (2014)

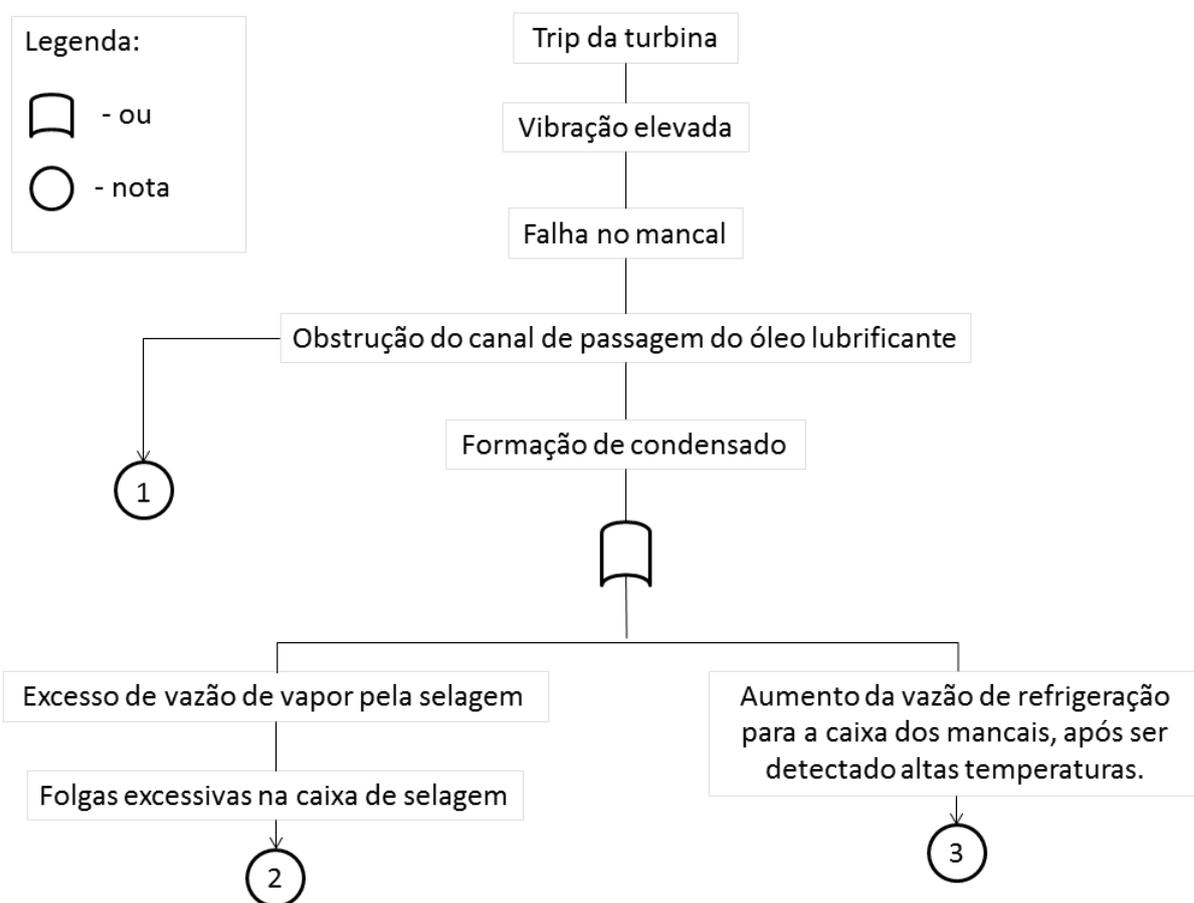
Devido à recorrência de falhas e intervenções de manutenção corretiva, como estratégia de manutenção, foi elaborado um plano de ação contemplando a análise de falha efetuada com a ferramenta: árvore de falha, que é amplamente utilizada na investigação e soluções de problemas.

O desenho da árvore de falha parte de um evento topo, que é a falha principal a ser analisada, a partir desse ponto, se desenvolve um processo lógico dedutivo mediante os defeitos verificados até atingir as possíveis causas que levaram a falha do sistema.

Mediante as informações coletadas através do relatório de manutenção, reunião com os envolvidos na operação e manutenção do equipamento, bem como o conhecimento das interações do processo, a árvore de falha foi desenhada conforme pode ser visualizado na Figura 3.

As interações dos eventos foram do tipo OU, uma vez que a ocorrência individual de qualquer um dos eventos resulta na falha do sistema, ou seja, o trip de turbina.

Figura 3. Árvore de Falha



Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Notas:

1 – A obstrução do canal indica que pode estar relacionado com a causa da falha;

2 – Item verificado durante a manutenção. Valores encontrados além dos recomendados pelo fabricante. É provável que esteja relacionado com a causa básica

3 – As condições de operação (temperatura do mancal, vazão de refrigeração) foram averiguadas e indicam que podem estar relacionadas com a causa da falha. Considerada a causa mais provável.

No topo da árvore foi posicionado o trip da turbina como evento principal. Verificou-se uma elevada vibração característica de defeito no mancal, que pode ter sido ocasionada por uma obstrução do canal de passagem do óleo lubrificante. Logo, foi recomendada uma limpeza do canal obstruído.

Devido à obstrução do canal, observou-se uma formação de condensado que pode ter sido provocada por excesso de vazão de vapor pela selagem em razão das folgas excessivas em sua caixa. Assim, foi indicada a substituição dos anéis de selagem.

Outro fator identificado pela árvore de falha foi o aumento da vazão de refrigeração para as caixas dos mancais, após ser detectado altas temperaturas. Assim, foi recomendado que esta turbina operasse com temperaturas entre 60 a 68°C nas caixas de mancal e essa medição deve ser feita no ponto horizontal marcado para aferir a vibração.

6 RESULTADOS

Visto que a contaminação do óleo na caixa de mancal pela formação de condensado é um evento recorrente, foi utilizada, como estratégia de manutenção, a ferramenta árvore de falha que auxiliou na investigação das possíveis causas do trip da turbina.

Ao detectar a temperatura elevada na turbina, foi possível verificar a necessidade de incremento na vazão de refrigeração, logo há um aumento de condensado na caixa dos mancais contaminando assim o óleo lubrificante. Com o intuito de mitigar essa ocorrência, foi recomendado manter a temperatura, no ponto horizontal marcado para a medição de vibração na caixa de mancal, entre a faixa de 60 a 68°C e o equipamento deve operar sem oscilação na vazão de refrigeração.

Outra causa também investigada foi na selagem da turbina. Uma vez que, por estar com folgas além das recomendadas permitia a passagem de excesso de vazão

de vapor pela selagem, sendo necessária a substituição dos anéis de selagem, pois o encontro do vapor quente com a temperatura fria da refrigeração incidia na caixa do mancal ocasionando a formação de condensado, contaminando assim o óleo. A Figura 4 a seguir ilustra a contaminação da caixa do mancal.

Figura 4. Contaminação na caixa do mancal



Fonte: Elaborado pela autora (2014)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a finalidade de garantir a melhoria da produtividade, os processos produtivos vêm cada vez mais implementando ações que buscam aumento de confiabilidade operacional em sistemas e equipamentos. Neste aspecto, as ferramentas de análise de falhas são fundamentais para identificar as causas e soluções que podem impactar na disponibilidade dos equipamentos. No estudo de caso ora apresentado a utilização da árvore de falha foi fundamental para diagnosticar a causa raiz do trip (parada inesperada) de turbina, mas, sobretudo, para propor soluções que evitassem a reincidência da falha.

Assim, uma vez identificado o evento principal, os outros motivos foram levantados até que se concluiu que a causa raiz do trip na turbina foi ocasionada devido à formação de condensado na caixa de mancal contaminando o óleo de lubrificação.

A medida recomendada para eliminar a reincidência desse evento foi manter a temperatura entre a faixa de 60 a 68°C, no ponto horizontal marcado para a medição de vibração na qual a turbina opere sem alteração na vazão de refrigeração. Esse procedimento foi acrescentado no plano de manutenção preditiva do equipamento e multiplicado por toda a equipe através de um treinamento no local de trabalho.

Dois anos depois, em 06/06/2016, foi efetuada uma manutenção oportuna no equipamento estudado e não mais foi identificado a presença de condensado na caixa de mancal.

USING THE FAULT TREE TOOL TO IDENTIFY POSSIBLE TURBINE TRIP CAUSES

Jéssica Amorim Neri
Marinilda Lima Souza

ABSTRACT

This paper proposes to use failure tree analysis as a tool to identify root cause of a steam turbine's trip, in other words, equipment stop. It was possible to verify turbine's trip caused by condensate in the bearing housing. Therefore, it was recommended to maintain turbine's temperature between 60 at 68 °C. This action was added to the predictive maintenance equipment plan and multiplied by the entire staff with training in the workplace. Through this management tool, it was possible to detect what caused the failure, determine actions to prevent the event's recurrence and ensure the operational reliability of the production system.

Keywords: Tools; Maintenance; Turbine; FTA; Failure; Cause.

REFERÊNCIAS

- AFFONSO, Luiz O. A. *Equipamentos mecânicos: análise de falhas e soluções de problemas*. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2012, 3ª ed. 408p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade: Terminologia*. Rio de Janeiro, 1994. 37p.
- BATISTA, Bruna D; GOMES, Gláycy K; BALTAZAR, Aline V. *A Árvore De Falhas (FTA) como ferramenta para o alcance da excelência no processo de fornecimento de água quente por aquecedores solares*. In: XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Desenvolvimento Sustentável e Responsabilidade Social: As Contribuições da Engenharia de Produção Disponível

em: www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2012_TN_STO_158_924_19585.pdf. Acesso em: 11/08/16.

BENEDUZZI, Anderson Henrique. Procedimentos de coletas de óleo para análise preditiva de turbinas à gás. 2012. 88 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/94505>>.

GODOY, Jorge. *Turbinas a Vapor*. Rio de Janeiro, 1994.

JUNIOR, Luiz C. M. *Máquinas Térmicas II*. Panambi, 2002.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. *Manutenção: função estratégica*. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2009, 3ª ed. 384p.

LIMA, Enio V. H. *Turbinas a vapor: programa de atualização*. Rio de Janeiro: Diretoria de Abastecimento: Petrobras, 2006.

NÓBREGA, Paulo R. L. *Compressores: manutenção de compressores alternativos e centrífugos*. Rio de Janeiro: Synergia: IBP, 2011. 445p.

PALADY, Paul. *Análise dos Modos de Falha e Efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram*. São Paulo: IMAM, 2011, 5ª ed. 270p.

SHINZAT, Marjolly P. *Gerenciamento de riscos ambientais*. Rio de Janeiro: SESES, 2016, 1ª ed. 152p.

XENOS, Harilaus G. *Gerenciando a manutenção produtiva*. Nova Lima: Editora Falconi, 2014. 312p.