

A MULTICRITERIA APPROACH APPLIED TO A REFINERY SYSTEM IN A HAZARDS CONDITION TO SUPPORT MAINTENANCE PLANNING

Mariana Souza Menezes, Paulo Gabriel Santos Campos de Siqueira

Departamento de Engenharia de Produção
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

ABSTRACT

Oil refining comprises a series of interconnected operations that guarantee full use of the potential energy of the petroleum through the generation of fractionated products with defined physical composition and properties. Therefore, in refineries and processing plants, the enormous amount of piping and equipment makes the operations more complex, increasing the difficulty to plan inspections. In this sense, this paper proposes a multicriteria approach to support the maintenance planning in a complex system of the refining process, which operates under hazardous conditions (*e.g.* high pressures, flammable and corrosive products, toxic dispersions). The model aims to help the maintenance planning integrated with risk management and decision-making, considering the multiple dimensions of risk that arise from accidents in an oil refinery. In general, we should not assess the scenarios based just on the risks to human lives. Still, they should involve a broader perspective that simultaneously considers the human, environmental, financial and operational dimensions that impact the criticality of the components in the system. Therefore, considering the multicriteria approach, the opportunistic maintenance pinpoints when and where inspections must be performed to detect the systems or subsystem's state based on the critical component.

1. INTRODUÇÃO

Sistemas complexos que operam sob condições de risco (*e.g.*, altas pressões, produtos inflamáveis e corrosivos, dispersões tóxicas) requerem abordagens adequadas para apoiar o planejamento da manutenção, alinhados com os requisitos para gerenciar o risco de perdas em múltiplas dimensões (*e.g.*, financeira, humana). Além disso, o *layout* do sistema de produção, as condições de operação ou mesmo os padrões de trabalho podem impor algumas dificuldades para a inspeção e manutenção dos componentes de um sistema.

Diante desta perspectiva, o planejamento da manutenção, em particular, nas refinarias de petróleo levanta várias questões específicas, uma vez que a disponibilidade e a confiabilidade do sistema são elementos cruciais. Neste sentido, a filosofia da Inspeção Baseada em Risco difundiu-se mais amplamente a partir da publicação dos guias API 580 e API 581 (*Risk-Based Inspection*), publicados American Petroleum Institute [1]. À vista disso, [2] afirmam que o uso de metodologias baseada no risco direciona as estratégias da manutenção, fazendo com que os componentes de alto risco sejam inspecionados e mantidos com maior frequência e rigor para alcançar critérios de risco toleráveis.

Logo, o desenvolvimento de metodologias para auxiliar no planejamento da manutenção é crucial para a melhoria do desempenho das operações. Alinhado a isto, [2] pontuam que os setores químico, petroquímico e de refinaria têm enfrentado regulamentos mais rígidos de segurança, proteção ao meio ambiente e de integridade que estão associados a desafios como a necessidade de minimizar o custo para melhorar a competitividade.

À vista disso, a análise de criticidade é um processo que fornece uma base sistemática para decidir quais ativos devem ter prioridade dentro de um programa de gerenciamento de manutenção [3]. Essa análise se tornou uma necessidade comercial, ao longo dos anos, para maximizar a disponibilidade durante a fase operacional dos ativos. [4] ressalta em seu estudo que existe uma forte correlação entre a disponibilidade de um ativo físico e o seu gerenciamento. Neste sentido, [5] define que os equipamentos críticos podem ser identificados com base em seu nível de risco aceitável, inicialmente selecionado. Assim, a manutenção do equipamento é priorizada com base no risco, diminuindo a probabilidade de falha e tornando a manutenção mais efetiva.

Portanto, diante da necessidade de decisões efetivas para o planejamento da manutenção, a análise de risco para a criticidade do ativo deve ser avaliada de maneira bem planejada, garantindo que as fontes significativas de risco sejam reduzidas ou eliminadas. De modo a minimizar o risco de acidentes e investimento em segurança

ao mesmo tempo [6]. Assim, este trabalho propõe um modelo de decisão baseado no apoio multicritério à decisão combinando a teoria da utilidade [7] e o método ELECTRE TRI [8,9] de maneira a auxiliar a tomada de decisão em sistemas que opera em condições de risco.

2. O MODELO MULTICRITÉRIO

O intuito da metodologia desenvolvida é a classificação dos equipamentos de um sistema complexo conforme sua criticidade. Nesse sentido, determinar a criticidade de um equipamento requer uma visão sistêmica do processo o qual está inserido, sob o ponto de vista operacional, financeiro, humano e ambiental. Verificando, assim, os objetivos e contextos específicos de aplicação que variam conforme cada setor industrial, possibilitando a determinação de uma política de manutenção adequada.

2.1 Identificação das consequências

[10] pontua que cada falha afeta a organização de alguma maneira, apesar de seus efeitos serem distintos. [11] reforça que os equipamentos petroquímicos estão sujeitos a vários modos de falha, e cada modo pode ter consequências de falha diferente. Portanto, a ocorrência de uma falha pode afetar além da operação, a qualidade do produto, a segurança e o meio ambiente, impactando diretamente no tempo e gerando custos.

Assim, as consequências das falhas definem se os recursos serão utilizados para prevenir as suas ocorrências. Deste modo, é de suma importância projetar o impacto de uma falha. [12] afirmam que isto é projetado para minimizar o custo da manutenção preventiva.

À vista disso, o modelo proposto avalia as consequências das falhas com base em quatro grupos, denominados de dimensões de consequências ou perdas. Logo, as cinco dimensões de consequências consideradas são: humana (h), ambiental (a), financeira (s) e operacional (e). Cada dimensão é detalhada a seguir:

- Dimensão humana (h) – Considera os danos às pessoas atingidas pelas consequências das falhas. É medida com base no número de pessoas atingidas;
- Dimensão ambiental (a) – Nesta dimensão é considerada a área atingida devido aos eventos das falhas. Portanto, a estima-se é área atingida (m^2);
- Dimensão financeira (s) – É levado em consideração os prejuízos monetários decorrentes das falhas ocorridas. Deste modo, considera-se os custos necessários para reparos;
- Dimensão operacional (e) – Considera a influência das consequências das falhas quanto ao comportamento do sistema produtivo.

2.2 Análise das consequências

As consequências e os maiores impactos dos acidentes estão diretamente relacionados à natureza do material liberado. Então, quando um material inflamável entra em contato com um oxidante, eles podem reagir produzindo uma energia térmica e o processo de combustão pode resultar tanto em fogo quanto em explosão, este segundo ocorrendo quando há uma mistura de oxigênio com o gás combustível em uma determinada proporção. Logo, a magnitude e a severidade das consequências fazem com que seja necessário o desenvolvimento de um gerenciamento mais apropriado e efetivo que proporcione a obtenção de resultados adequados [13].

Portanto, para a análise das consequências, como forma de lidar com as incertezas utiliza-se uma abordagem probabilística [14]. Essa abordagem considera distribuições de probabilidade para avaliar as possíveis consequências e, de posse dessa probabilidade, é realizada a elicitación da função de utilidade para mensurar o impacto das consequências dado que ocorreu um evento de falha.

Neste sentido, de acordo com [15] a distribuição de probabilidade de uma dada consequência, conhecida como função consequência P , é representada pela probabilidade de se obter uma dada consequência p , dado que ocorreu um cenário θ_{jk} em um componente w_i do sistema analisado. Logo, para as dimensões em estudo, a função consequência é representada da seguinte forma: $P(c_h | \theta, w_i)$, $P(c_a | \theta, w_i)$, $P(c_s | \theta, w_i)$ e $P(c_e | \theta, w_i)$.

Desta forma, para se trabalhar com todos os valores e preferências relacionadas à \mathcal{P} é importante, como forma de facilitar o desenvolvimento da análise, realizar a elicitación da função utilidade ($u(x)$) e, posteriormente, a implementação como o valor da distribuição de probabilidade $P \in \mathcal{P}$. Posto isto, considera-se que o decisor, quando avalia o peso das consequências dos cenários disponíveis, analisa as probabilidades associadas às consequências. Deste modo, a preferência de um decisor por uma consequência poderá ser expressa pela função utilidade, baseada apenas no valor esperado da utilidade.

2.3 Cálculo da utilidade esperada

Essa seção apresenta as equações utilizadas para o cálculo da utilidade esperada que consiste no cálculo da distribuição de probabilidade para as dimensões apresentadas anteriormente e no cálculo da função utilidade ($u(x)$).

Deste modo, para o caso de dimensões que são voltadas para variável discreta a utilidade esperada para a função consequência sobre seres humanos, é obtida então pela equação 1:

$$E[U_h(w_i)] = \sum_0^{\infty} u(x) P(c_h | \theta, w_i) \quad (1)$$

Por outro lado, as demais dimensões são variáveis contínuas, desta forma o somatório é substituído por uma integral. De posse das funções utilidade estimadas para as consequências ambientais, financeiras e operacional como apresentado na seção anterior, calcula-se a utilidade esperada através da equação 2:

$$E[U_k(w_i)] = \int_0^{\infty} u(x) P(x)_{geral} \quad (2)$$

Onde, o $P(x)_{geral}$ diz respeito as probabilidades das consequências em cada dimensão: $P(c_a | \theta, w_i)$, $P(c_s | \theta, w_i)$ e $P(c_e | \theta, w_i)$.

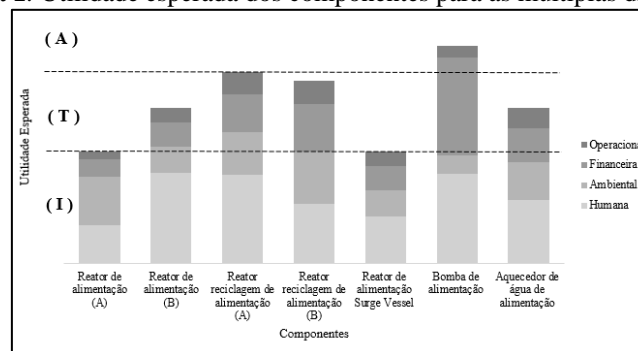
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para ilustrar a abordagem proposta, utilizou-se de estudo de caso o sistema de alimentação de uma unidade de Hidrocrackeamento (*Hydrocracker*), unidade de uma refinaria que tem por objetivo converter destilados de vácuo em destilados intermediários de elevada qualidade, a partir da quebra de cadeia de hidrocarbonetos.

À vista disso, o modelo se apresenta de suma importância já que trata de um método sistemático para a determinação da criticidade de tais componentes, principalmente se for levada em conta a crescente complexidade de configurações dos sistemas atualmente produzidos.

Buscando classificar em categorias de risco um conjunto de componentes em operação, parte-se para o cálculo das perdas esperadas (riscos) sob a abordagem do modelo proposto. Integrando as perdas obtidas a partir de funções parametrizadas. Desta forma, os dois perfis de referência de classe que dividiram as três categorias de risco: Risco Inaceitável (I), Risco Tolerável (T) e Risco Aceitável (A). Por meio do gráfico apresentado na Figura 1 pode-se observar o comportamento das utilidades esperadas para cada componente. À medida que os valores destes impactos aumentam, a utilidade destas consequências diminui.

Figura 1. Utilidade esperada dos componentes para as múltiplas dimensões



É possível observar na Figura 1 que todas as alternativas (componentes) avaliados estão enquadradas em uma das três categorias que foram estabelecidas. Onde o Reator de Alimentação A e o Reator de Alimentação *Surge Vessel* pertencem à categoria constituída por componentes com alto risco, sendo, portanto, o Risco Inaceitável. Já a bomba de alimentação foi o único componente do sistema que apresentou o risco aceitável. As demais alternativas foram enquadradas dentro da categoria de Risco Tolerável que é formada por componentes de prioridade moderada.

A análise de criticidade é uma consideração sistemática de todas as operações em uma instalação ou área, tanto em condições normais quanto em condições de falha potencial. Isso se aplica a todos os estágios do ciclo de

vida de uma instalação em um sistema de manufatura. O diferencial dessa abordagem é que, diferentemente de outros métodos tradicionais (e.g., HAZOP, FMEA e Classificação ABC), ela permite incluir uma avaliação multidimensional do problema. O modelo busca fornecer subsídios para que, satisfeitos os critérios, os gestores de manutenção possam, em um processo continuado e periódico, proceder à identificação e classificação dos componentes em um sistema em operação em categorias hierárquicas de risco.

4. CONCLUSÃO

A abordagem apresentada neste artigo, tem o propósito de desenvolver uma metodologia multicritério para auxiliar no planejamento da manutenção para um sistema de produção sob condições de risco. Neste sentido, a metodologia estruturada preenche lacunas que as metodologias de risco apresentam, como a avaliação de múltiplas dimensões a partir do apoio da decisão multicritério.

Logo, o impacto desta metodologia pode ser verificado a partir da incorporação da avaliação multicritério na etapa da análise de risco, sendo esta subdividida: análise de probabilidade de falha, avaliação das consequências e quantificação do risco. Esta incorporação tem por intuito tratar as incertezas através de uma abordagem quantitativa, de forma não compensatória. Desse modo, é possível analisar o impacto como um todo verificando a criticidade do componente dos sistemas em quatro dimensões: financeira, operacional, humana e ambiental.

Ademais, o resultado da aplicação permite traçar um planejamento de manutenção focado no controle e planejamento de ações sistêmicas com resultado a longo prazo, visto que grande parte das alternativas possuem criticidade alta ou média. Para os equipamentos avaliados com uma criticidade alta, ou seja, os de risco inaceitável, a estratégia é a ação imediata voltadas para melhorias focadas em reduzir o impacto de sua falha em aspectos como segurança e disponibilidade da operação. Já para os equipamentos de média criticidade, isto é, de risco tolerável a atuação da manutenção deve ser priorizada em razão da ordenação dos equipamentos, com uma mescla de ações imediatas e sistêmicas.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos (PRH 38.1) intitulado “Análise de Risco e Modelagem Ambiental na Exploração, Desenvolvimento e Produção de Óleo e Gás” gerenciado pela Agência Nacional de Petróleo (ANP) e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) (nº de processo 044819), e também da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Finance Code 001.