



HAZOP: APLICAÇÃO EM UM PROJETO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

HAZOP: A STUDY APPLIED TO AN INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT PLANT PROJECT

Evandro José de Castro Lopes*  E-mail: evandrojlopes@yahoo.com.br

Leandro César Mol Barbosa*  E-mail: leandro.mol@ifmg.edu.br

Renata Veloso Santos Policarpo*  E-mail: renataveloso@ifmg.edu.br

Marco Antônio Sabará*  E-mail: marco.sabara@ifmg.edu.br

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

Resumo: Em função das catástrofes em barragens de rejeito alteadas a montante no Brasil e consequente necessidade de descontinuidade destas instalações, as Estações de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEIs) revelaram-se como substitutas viáveis para empresas dependentes deste processo. A implementação adequada de uma ETEI deve envolver uma avaliação detalhada de riscos, uma vez que o acometimento de falhas pode paralisar toda a operação de uma planta. O objetivo deste artigo é aplicar o HAZOP em um projeto de uma ETEI, em uma mineradora de grande porte, de forma a avaliar a contribuição na redução dos riscos sobre seus processos e garantir um melhor desempenho operacional. Para isso, foi realizada uma pesquisa-ação em uma empresa de mineração de grande porte de forma a propor medidas de resposta aos riscos encontrados e avaliar o processo de aplicação da ferramenta. Como resultado, foi possível tratar 31 desvios, eliminando riscos de alto nível, além de propor questões como sua aplicação desde o projeto básico e uso conjunto com outras ferramentas.

Palavras Chave: ETEI. HAZOP. Análise de riscos. Gerenciamento de riscos. Barragem de rejeito.

Abstract: Due to the catastrophes in upstream tailing's dams in Brazil and the consequent need to discontinue these facilities, the industrial Wastewater Treatment Plant (WWTP) proved to be viable replacements for companies dependent on this process. The proper implementation of an ETEI must involve a detailed risk assessment, since the occurrence of failures can stop the entire operation of a plant. The objective of this article is to apply HAZOP in an ETEI project, in a large mining company, in order to evaluate the contribution to reducing risks in its processes and ensuring better operational performance. For this, an action research was carried out in a large mining company in order to propose measures to respond to the risks found and to evaluate the tool application process. As a result, it was possible to deal with 31 deviations, eliminating high-level risks, in addition to proposing issues such as their application from the basic project and joint use with other tools.

Keywords: WWTP. HAZOP. Risk analysis. Risk management. Tailing's dam.

1 INTRODUÇÃO

O processo de descarte de rejeitos de mineração passou por modificações relevantes no Brasil, principalmente após duas catástrofes relacionadas ao rompimento de barragens de rejeito (Ilhanez, 2023). Como resultado, são observados esforços em busca de novos meios para tratar o efluente industrial que antes era direcionado para estas estruturas. A implantação de Estações de Tratamento de Efluentes Industriais (ETELs) é uma das soluções viáveis de implementação (Raschle, 2013), sendo seu uso importante para o reaproveitamento da água de processos industriais (Mohan; Robinson, 2022).

Usualmente, as técnicas utilizadas para o projeto destas instalações falham em considerar a variabilidade inerente de cada processo e sua associação direta com a confiabilidade do sistema (Oliveira; Filho; Giordano, 2014). Falhas no sistema de tratamento de efluentes podem resultar na sessão da atividade operacional de uma empresa. Tal cenário culmina com a necessidade de uma avaliação dinâmica de riscos potenciais, para a determinação de medidas de mitigação adequadas às suas características (Analouei; Taheriyoun; Amin, 2022).

Uma das formas de realizar esta avaliação se dá por meio da utilização do HAZOP. O HAZOP é uma ferramenta de análise estruturada, aplicada à verificação de processos novos ou existentes, capaz de identificar potenciais desvios ou perigos resultantes de falhas indesejadas (Penelas; Pires, 2021). Trata-se de um exame crítico e sistemático, em que o projeto é avaliado ponto a ponto em todos os seus parâmetros por uma equipe multidisciplinar. Sua utilização permite mitigar riscos de segurança relacionados ao processo, assim como melhorar sua performance, por meio da redução de problemas operacionais (Dunjo, 2010; Lim *et al*, 2021).

Alguns estudos envolvendo o HAZOP podem ser destacados quanto aos seus resultados. Dentre eles, Hokmabadi e Karimi (2022) demonstram a efetividade da ferramenta quando aplicada a uma estação de despressurização de gás, com a identificação de 22 desvios e a definição de medidas focadas na inspeção e manutenção da planta. Penelas e Pires (2021), mostraram a efetividade da ferramenta para análise de unidades complexas, sendo capaz de prover informações importantes para a tomada de decisão. Já Guo e Kang (2015) aplicaram o HAZOP em conjunto com a árvore de falhas, demonstrando que seus resultados podem ser maximizados em aplicações conjuntas com outras ferramentas de gestão de riscos.

Este artigo teve como objetivo aplicar o HAZOP em um projeto de uma ETEI, a ser implantada em uma empresa mineradora de grande porte, de forma a avaliar a contribuição na redução dos riscos sobre seus processos e garantir um melhor desempenho operacional. Essa optou pela sua instalação dada a necessidade de desativação de uma de suas barragens de rejeito, construída pelo método de alteamento a montante. Com o sancionamento a Lei 23.291, foi determinado o fim da operação de barragens do gênero, ficando a cargo da própria organização as adaptações necessárias para a manutenção de suas atividades (Fraga, 2019). Desta forma, para o desenvolvimento do estudo, utilizou-se da pesquisa-ação como principal procedimento metodológico.

Para além desta introdução, o trabalho encontra-se organizado da seguinte forma: no tópico 2, foi elaborada a revisão teórica, tendo o HAZOP como principal foco; no tópico 3 foram descritos os procedimentos metodológicos utilizados para a construção do estudo; no tópico 4, apresentou-se caracterização do caso avaliado; no tópico 5, foi realizada a apresentação dos resultados da aplicação do HAZOP; no tópico 6, foram feitas discussões sobre os resultados e as percepções sobre a aplicação da ferramenta; e no tópico 7, foram endereçadas as conclusões da pesquisa.

2 REVISÃO TEÓRICA

De acordo com a norma ISO 31000:2009, um risco pode ser considerado como o efeito das incertezas sobre os objetivos, seja de uma organização, projeto ou ação. Esse possui como desfecho um desvio potencial em relação aos resultados esperados, que pode ser positivo ou negativo, gerando impactos financeiros, ambientais, ou sobre a saúde e segurança de trabalhadores. Esses efeitos afetam os objetivos organizacionais em níveis diferentes, influenciando estratégias organizacionais, projetos, produtos, processos ou mesmo a organização como um todo.

No âmbito de um projeto, o sucesso de sua execução depende da forma com que os riscos são gerenciados e integrados às outras variáveis, como atividades, recursos, prazos, custos e qualidade. Dada essa influência, é necessário fazer o controle de seus possíveis efeitos desde as etapas iniciais, uma vez que os riscos

passam a existir a partir da concepção do projeto, podendo ser verificados desde a etapa de planejamento (Salunke; Lende, 2023; Elfar; Radwan; Muhammad, 2023).

Ao realizar o gerenciamento dos riscos, é comum que as incertezas provenientes do projeto não possam ser totalmente eliminadas, devendo-se nestes casos, trabalhar com a redução dos riscos negativos e maximização das oportunidades. A utilização de ferramentas e métodos adequados de gerenciamento permite uma avaliação das possíveis ocorrências antes e durante a execução do projeto e são fundamentais para a obtenção dos resultados desejados (Oliveira; Filho; Giordano, 2014)

As técnicas de análise de risco podem se utilizar de métodos tanto quantitativos, com valores e medidas de probabilidade calculadas individualmente por evento de risco, quanto qualitativos, em que os riscos são classificados em faixas e categorias prioritárias de ação. Os dois métodos podem ser utilizados de forma complementar, fornecendo uma compreensão conjunta dos fenômenos. Isso permite agregar medidas qualitativas a valores numéricos precisos de probabilidades e impacto dos eventos (Nabawy; Khodeir, 2020; Sudarsana, 2021).

A escolha da ferramenta de análise de risco a ser utilizada deve ser baseada na quantidade e na qualidade dos dados disponíveis, assim como na natureza do problema e no grau de exatidão desejado. Nos casos em que as informações disponíveis são mais pobres, métodos qualitativos são mais aconselháveis, obtendo-se os dados através da observação direta. Se a informação é detalhada e próxima à realidade, é aconselhável realizar análises quantitativas (Oliveira; Filho; Giordano, 2014).

O Quadro 1 apresenta uma lista de ferramentas que podem ser utilizadas conforme o tipo de análise possível, destacando-se entre elas o HAZOP, utilizado no estudo.

Quadro 1 – Principais métodos e características de análise de risco

Ferramenta de análise de risco	Tipo de análise
Lista de Verificação	Qualitativa
Análise Preliminar de Risco (APR)	Qualitativa
Análise de Perigo e Operabilidade (HAZOP)	Qualitativa
Análise de Árvore de Evento (AAE)	Semiquantitativa
Análise de Árvore de Falha (AAF)	Semiquantitativa
Análise de Modo de Falha e Efeitos (FMEA)	Qualitativa
Análise de Modo de Falha, seus Efeitos e Criticidade (FMECA)	Semiquantitativa

Fonte: Adaptado de Oliveira e Giordano (2014).

2.1 HAZOP

O HAZOP ou *Hazard and Operability Study* (Estudo de Riscos e Operabilidade), é uma ferramenta utilizada no gerenciamento de riscos, em que os perigos e problemas de operabilidade são caracterizados e identificados. Esta ferramenta tem como foco de aplicação os processos industriais, seja na fase de projeto, em instalações já existentes, ou em modificações a serem introduzidas (Mendonça; 2013; Dahliani *et al*, 2022). Trata-se de uma ferramenta com grande aceitabilidade, uma vez que é reconhecido por autoridades reguladoras, sendo utilizada em países como Estados Unidos, Alemanha, Holanda, Reino Unido, entre outros (Sauer, 2000).

O amplo reconhecimento do HAZOP está ligado à sua simplicidade e versatilidade de aplicação, que facilita o processo de revisão dos riscos e ajuda na redução dos custos de análise (Bajic, 2021; Sauer, 2000). Esse apresenta um procedimento disciplinado para a verificação de desvios em equipamentos e componentes (Dunjo, 2010), além de incluir uma ampla verificação dos documentos de projeto que descrevem a instalação em análise (Marhaviilas *et al.* 2020). A aplicação do HAZOP na indústria é ampla e vem de encontro a questões relacionadas não somente à segurança da operação, mas também a melhoria de desempenho (Meng *et al.*, 2021). Embora se apresente como uma ferramenta completa, o HAZOP pode ser otimizado com o acréscimo de outros métodos de identificação de riscos de maneira a ampliar a sua cobertura e trazer análises mais aprofundadas (Rikalovic *et al.*, 2022; Sauer, 2000).

Em comparação com outras ferramentas de análise de risco, Alves (1997) sugere que o HAZOP possui um maior espectro de atuação, podendo responder a um conjunto maior de eventos que outras ferramentas como *What if*, listas de verificação, FMEA e Árvore de Falhas. Essas, por sua vez, possuem um potencial mais limitado, seja por não serem estruturadas em um maior nível de detalhes ou pela abrangência mais restrita de identificação de riscos.

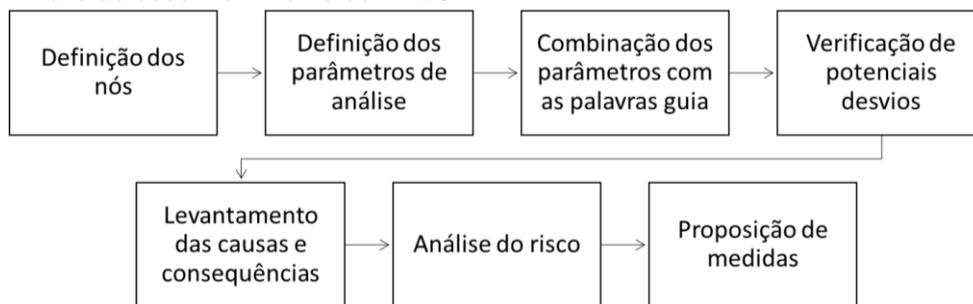
2.2 Atuação da equipe na aplicação do HAZOP

O sucesso da aplicação do HAZOP está em muito vinculado à experiência e participação da equipe no processo de análise. É recomendado que a equipe seja

multidisciplinar, composta por um líder, responsável por guiar o estudo em toda sua extensão e representantes da equipe técnica, como engenheiros de processo, de operação, entre outros (Herrera *et al.* 2018). A interação constante entre os integrantes da equipe, além de proporcionar uma melhor aplicação da ferramenta, também pode ser responsável por despertar mudanças comportamentais positivas dentro da organização, ligadas à visão dos riscos em seus processos (Rikalovic *et al.*, 2022; Sauer, 2000). Essa equipe deve ser cuidadosamente escolhida e deve ter autonomia suficiente para recomendar as mudanças necessárias no projeto (Dunjo, 2010).

Após a definição do escopo de atuação, bem como da equipe responsável (Herrera *et al.* 2018), a aplicação do HAZOP segue uma série de passos pré-definidos, os quais encontram-se representados na Figura 1.

Figura 1 – Fluxo de desenvolvimento do HAZOP



Fonte: Próprio autor.

Ao início da aplicação da ferramenta, o líder da equipe divide o sistema em pontos de análise denominadas nós. Estes nós são divididos em função do porte do sistema e complexidade de análise, devendo ser adequados para a verificação de todas as partes relevantes do sistema (Hokmabadi; Karimi, 2022).

Para cada nó, a equipe proporciona uma análise conjunta com foco na identificação dos desvios sobre os objetivos de projeto. Esse processo é feito pela aplicação de palavras guias (Cheraghi; Baladeh; Khakzad, 2019). As palavras guias são utilizadas pela equipe para qualificar ou quantificar os possíveis desvios de operação e para estimular o brainstorming entre os participantes. Estas palavras são associadas aos parâmetros de processo como vazão, temperatura, pressão, entre outros (Pinheiro; Martins, 2020). O Quadro 2 apresenta algumas destas palavras e seu significado e o Quadro 3, um exemplo de combinação entre as palavras guia e o parâmetro de processo, resultando no desvio a ser analisado.

Quadro 2 - Palavras guia

Palavra-guia	Significado
Não	Negação da intenção de projeto
Menor	Diminuição quantitativa
Maior	Aumento quantitativo
Parte de	Diminuição qualitativa
Bem como	Aumento qualitativo
Reverso	Oposto lógico da intenção de projeto
Outro	Substituição completa

Fonte: Pinheiro e Martins, (2020).

Quadro 3 - Combinação de palavras guia e desvios

Palavra-guia	Parâmetro	Desvio
Fluxo	Não	Sem fluxo
	Menor	Menos fluxo
	Maior	Mais fluxo
	Reverso	Fluxo reverso
Pressão	Menor	Pressão baixa
	Maior	Pressão alta
Temperatura	Menor	Baixa temperatura
	Maior	Alta temperatura
Nível	Menor	Nível baixo
	Maior	Nível alto

Fonte: Pinheiro e Martins, (2020).

Cada desvio deve ser sistematicamente verificado pela equipe, sendo registradas suas causas e consequências (Dunjo, 2010). Esse deve ter seu risco avaliado de forma qualitativa, podendo ser utilizada para isso uma matriz de risco, que permite verificar de forma combinada a frequência e a severidade do desvio para a priorização das medidas de resposta (Cheraghi; Baladeh; Khakzad, 2019).

As respostas servem como uma forma de controle e estão relacionadas às causas e consequências levantadas pela equipe. Essas têm como objetivo eliminar ou reduzir os desvios e podem compreender projetos de engenharia, procedimentos de operação, implantação de sistemas de bloqueio e/ou instrumentos para detecção e alarme. Depois de esgotados todos os desvios de um nó, a equipe reinicia o

processo para o nó posterior. Esta condição se repete até que todos os nós do sistema sejam analisados (Coutinho; Campello; Lima; Fusaro; 2017).

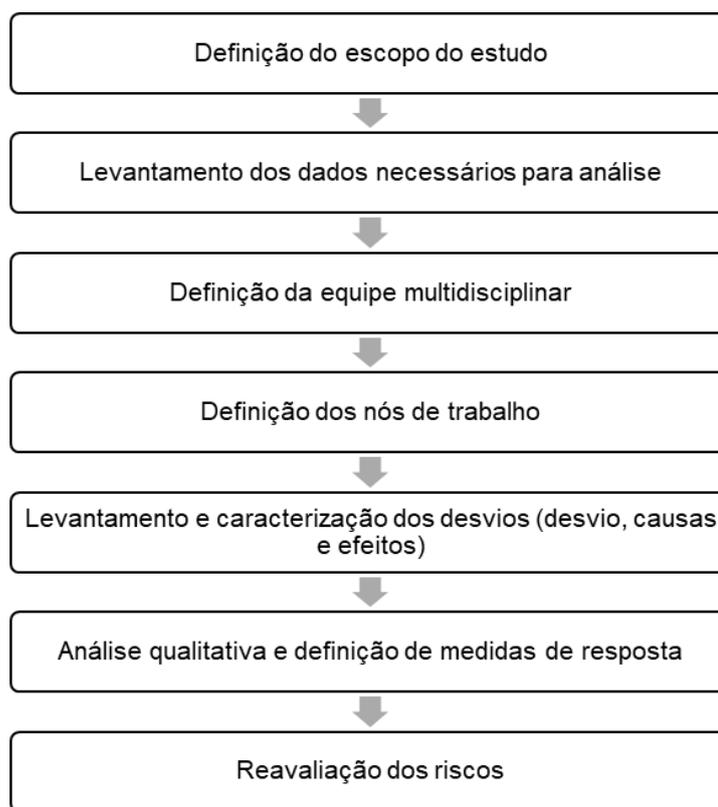
3 METODOLOGIA

Este artigo tem como objetivo aplicar o HAZOP em um projeto de uma ETEI, a ser implantado em uma empresa mineradora de grande porte, de forma a avaliar a contribuição na redução dos riscos sobre seus processos e garantir um melhor desempenho operacional. Para tanto, foi realizada uma pesquisa-ação em um projeto de uma ETEI, a qual está sendo implantada devido a interrupção da operação de uma barragem de rejeitos de uma mineradora de grande porte. Optou-se pela utilização da pesquisa-ação por se tratar de um estudo empírico em que o pesquisador está envolvido em ações para resolução do problema de forma cooperativa e participativa (Gil, 2017). O estudo realizado possui abordagem qualitativa, utilizada no intuito de compreender os fenômenos no contexto em que ocorrem, com a consideração da perspectiva das pessoas envolvidas (Oliveira; Miranda; Saad, 2020).

Optou-se pela utilização do HAZOP como ferramenta de verificação de riscos devido à complexidade e importância da implementação do projeto da ETEI para a empresa, assim como a disponibilidade de informações técnicas existentes até o momento da pesquisa. Por se tratar de uma ferramenta aplicada do projeto à operação, constitui-se de um meio versátil e abrangente, capaz de proporcionar uma visão preventiva do todo. Além disso, o HAZOP apresenta bons resultados não somente na identificação dos riscos, mas também de suas causas e consequências, permitindo a tomada de ações prévias à materialização de eventos indesejados (Herrera *et al.* 2018; Dunjo, 2010).

A aplicação do HAZOP se deu por meio de 7 etapas, baseadas em Sauer (2000). Estas encontram-se descritas na Figura 2.

Figura 2 - Responsabilidade do líder de aplicação do Hazop



Fonte: Adaptado de Sauer (2000).

Após definido o escopo de estudo com a delimitação dos sistemas pertencentes ao projeto da ETEI, foi realizado o levantamento de dados. Este se deu com o mapeamento dos documentos de projeto existentes, no intuito de conhecê-los em detalhes. Assim foi realizada uma leitura sistemática da documentação listada do projeto. Em seguida, foram verificadas as instalações do sistema de tratamento e seu processo, o layout dos equipamentos, interligações, interferências com os outros sistemas já existentes e procedimentos para a partida do sistema. Documentos como fichas de capacidade, manuais de instrução e demais desenhos de projeto também foram avaliados.

Após o levantamento dos dados e o entendimento do processo, foi definida uma equipe multidisciplinar para dar apoio à montagem do HAZOP. Foi estabelecido como parâmetro mínimo inicial a participação de um representante da área de projetos e um representante da área operacional. A equipe final montada contou com 7 participantes, de forma a garantir profissionais com conhecimento nas diversas áreas do projeto, conforme apresentado no Quadro 4. O pesquisador participante esteve envolvido em todo o projeto junto a equipe de especialistas.

Quadro 4 - Composição da equipe multidisciplinar para execução do HAZOP

Equipe Multidisciplinar para HAZOP ETEI	Representante da operação
	Representante do processo
	Representante da manutenção elétrica e instrumentação
	Representante da equipe de projetos
	Representante do fornecedor
	Representante da segurança do trabalho
	Representante do meio ambiente

Fonte: Próprio autor.

Com a equipe já definida, deu-se início à divisão dos nós de análise. Essa divisão se deu com base no sistema projetado para a ETEI e as suas interfaces com as instalações já existentes. Neste ponto a experiência da equipe de HAZOP foi importante dada a necessidade de conhecimento do processo analisado e sua relação com outros processos existentes. Os nós levantados encontram-se listados no Quadro 5.

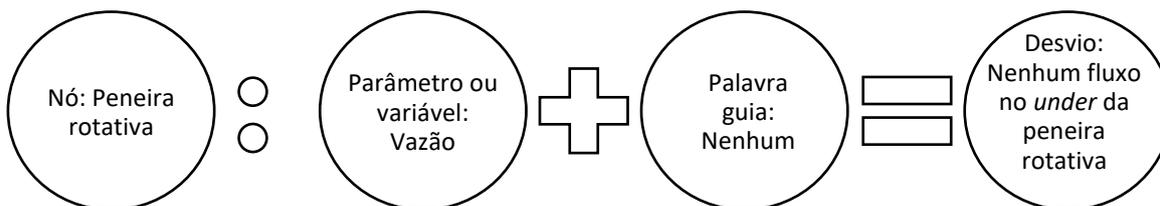
Quadro 5 - Definição de sistemas e nós para Hazop da ETEI

Sistema	Nó	Descrição do nó
Dragagem de materiais sedimentados	1	Bomba de recuperação de sólidos
	2	Bomba de recuperação de água
Recuperação de água da bacia	3	Peneira Rotativa
	4	Bacia de decantação
Recebimento de reagentes	5	Bomba de descarga de coagulante
	6	Tanque de coagulante
Coagulação, flotação, decantação	7	Bomba de dosagem de coagulante
	8	Floculadores verticais
	9	Decantadores lamelares
Filtração e abrandamento	10	Filtro Zeólita
Emergência	11	Gerador de energia elétrica

Fonte: Próprio autor.

Após o estabelecimento dos nós, para cada um deles foram levantados os desvios associados à operação. Cada nó foi verificado em conjunto com a equipe de HAZOP, associando os parâmetros de processo ou variáveis do nó escolhido com as palavras guia, no intuito de encontrar possíveis desvios, como evidenciado na Figura 3.

Figura 3 - Exemplo de definição de risco para HAZOP de ETEI



Fonte: Próprio autor.

Os desvios levantados foram analisados por meio de uma matriz de risco acoplada ao padrão utilizado para o HAZOP. Por meio da matriz foi avaliada a frequência estimada de ocorrência, assim como a severidade do desvio. A classificação foi feita conforme critérios presentes no procedimento de gerenciamento de risco da empresa. Esses não foram incluídos no artigo de forma a manter o sigilo sobre o documento. O cruzamento da severidade e frequência permitiu classificar os desvios em categorias de risco e priorizá-los. A priorização da atuação da equipe de HAZOP se deu por meio da escala apresentada na da Figura 4, com foco principal na eliminação ou mitigação dos riscos muito alto e alto, que são considerados inaceitáveis para o processo.

Figura 4 – Matriz qualitativa de riscos

Matriz de Risco		Severidade					
		Muito leve	Leve	Moderado	Grave	Crítico	Muito crítico
Frequência	Muito Provável	Baixo	Médio	Alto	Alto	Muito Alto	Muito Alto
	Provável	Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto	Muito Alto
	Pouco provável	Baixo	Baixo	Médio	Médio	Alto	Muito Alto
	Remoto	Baixo	Baixo	Médio	Médio	Médio	Alto
	Muito remoto	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Médio	Médio

Fonte: Adaptado de Castro e Gonçalves (2019).

Com base nos desvios levantados, causas, efeitos e priorização, foram definidas uma série de medidas de respostas de forma a mitigar os efeitos negativos, ou mesmo eliminar as causas dos desvios. Em posse dessas respostas, os riscos foram reavaliados, permitindo-se levantar o grau de risco residual existente para cada desvio encontrado. Por meio da comparação entre o risco inicial e o risco residual, foi possível avaliar o desempenho previsto das medidas estipuladas. Os resultados da análise do HAZOP foram apresentados e discutidos em função da literatura e das observações empíricas do caso.

4 CARACTERIZAÇÃO DO CASO

Nos últimos anos, o Brasil passou por dois eventos catastróficos relacionados ao rompimento de barragens de rejeitos de mineração, com a ruptura da Barragem de Fundão em 2015 e a Barragem de Córrego do Feijão em 2019. As barragens relacionadas ao acidente tinham em comum o método de alteamento a montante em sua construção. Embora este método apresente um menor custo de implantação e maior velocidade de alteamento, ele também apresenta desvantagens críticas relacionadas ao grau de segurança, inclusive com alta capacidade de liquefação de massa, o que pode gerar riscos de rompimento (Thomé; Passini, 2018).

Como consequência destes eventos, em 25 de fevereiro de 2019, foi sancionada a Lei 23.291, que determina o fim da operação deste tipo de barragem e obriga as empresas a descaracterizarem aquelas que se encontram ativas. Isso deu origem a uma necessidade iminente de modificação de processos por parte de algumas empresas, com a implementação de outras técnicas de descarte do rejeito (Fraga, 2019).

Com a implementação da lei, os efluentes industriais da empresa estudada, que consistem em água de processo clarificada em sistema de espessamento, passaram a precisar de outra destinação. Esta necessidade culminou no projeto de instalação de uma Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI), com o objetivo de garantir um maior grau de pureza do efluente gerado no processo. A melhoria da qualidade do efluente permite direcioná-lo para corpos d'água existentes na região.

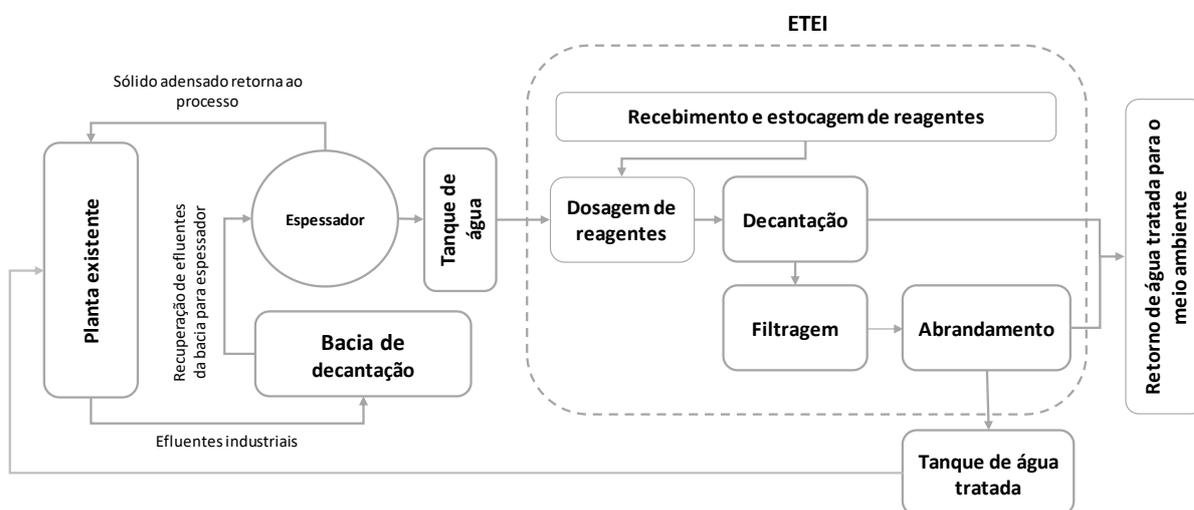
O sucesso na implantação do projeto da ETEI é mandatório para manutenção das atividades produtivas na empresa e, para isto, precisa estar de acordo com as exigências ambientais expressas do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama). Não atendendo a estas exigências, a empresa fica impedida de realizar o descarte do efluente, o que pode resultar na consequente paralisação das atividades produtivas.

A instalação da ETEI precisa atender a uma capacidade de tratamento de 600m³/h de água em regime contínuo conforme padrões solicitados pelo CONAMA. Parte da água tratada também pode ser reutilizada nos processos da usina, substituindo a captação de 130 m³/h de água nova.

Dois principais processos foram planejados para compor a ETEI. O primeiro é a clarificação por dosagem de reagentes, em que são utilizados coagulantes e

floculantes para provocar uma decantação rápida das partículas sólidas presentes no efluente, de forma a separá-las. O segundo é a filtração e abrandamento, para retirada de carbonato de cálcio do efluente clarificado, permitindo a reutilização do efluente no processo, com uma dureza da água em 80ppm. O projeto também contempla os sistemas de recuperação dos sedimentos sólidos da bacia de decantação através de draga elétrica e bombas para recuperação do material sobrenadante. Ambos os produtos serão bombeados para um espessador, equipamento já existente no processo, que será responsável pela interface com as novas instalações. Esses processos encontram-se representados de forma simplificada na Figura 5.

Figura 5 – Diagrama simplificado da ETEI



Fonte: Próprio autor.

É importante salientar que o impacto do lançamento de efluentes em corpos d'água sempre foi preocupante. Como consequência, a legislação brasileira procura influir tanto nas condições de descarga quanto no nível de tratamento exigido. Portanto, agir por meio de uma estratégia proativa, analisando os riscos mesmo antes dos trabalhos de implantação iniciarem, pode gerar ganhos ao projeto (Veloso; Silva, 2021).

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

De modo geral, a utilização do HAZOP se mostrou uma prática ágil e descomplicada para a identificação de riscos e perigos de operabilidade no sistema abordado. Porém, isso não significa que uma análise detalhada e sistemática não

tenha sido necessária. O entendimento do processo e verificação dos desvios exigiu a aplicação de conhecimento técnico especializado, com o aprofundamento na documentação do projeto e estudos sobre os equipamentos abordados. Desta forma a participação de uma equipe multidisciplinar fez-se fundamental para a realização das análises.

Em uma visão detalhada, os riscos levantados durante a aplicação do HAZOP se mostraram muito relevantes para a aplicação de melhorias no projeto e redução de seu grau de risco. Foram analisados 11 diferentes nós de processo, em que cada um apresentou níveis diferentes de criticidade em função dos riscos levantados. Os tópicos 5.1 e 5.2 tratam dos nós de análise mais problemáticos verificados durante a implementação do HAZOP. Estes são respectivamente a bomba de recuperação de sólidos e a bomba de dosagem de coagulante. Devido ao grande volume de dados levantados, estes servirão como exemplo para a apresentação das questões práticas e desafios encontrados durante o processo de pesquisa-ação. No tópico 5.3 são apresentados os resultados finais da aplicação.

5.1 Análise da bomba de recuperação de sólidos

A bomba de recuperação de sólidos é um equipamento que desempenha a função de agitar e remover os materiais sedimentados no fundo da bacia de decantação, bombeando-os para o processo de espessamento. Este equipamento é importante para o processo e possíveis falhas podem gerar, por exemplo, a diminuição ou interrupção da retirada de sólidos da bacia de decantação, diminuindo sua área útil e gerando o transbordo de efluente sem a qualidade adequada para o meio ambiente.

Durante a aplicação do HAZOP, a bomba de recuperação de sólidos foi analisada em função do parâmetro fluxo. Este foi combinado a uma série de palavras guia, das quais 3 resultaram em possíveis desvios: nenhum, menos e contaminado. Os desvios potenciais encontrados foram apresentados no Quadro 6, podendo ser gerados por diferentes fatores. Dentre esses, destaca-se a presença de contaminantes na bacia de decantação, os quais podem chegar pelas canaletas de drenagem projetadas. Destaca-se também possíveis desgastes de peças e componentes durante o bombeamento, uma vez que o material bombeado é abrasivo. Quebras no sistema escarificador e agitador relacionadas a inserções abruptas no

material e vazamentos de óleo ou combustível durante operação também foram considerados.

Quadro 6 - Aplicação de HAZOP para o nó da bomba de recuperação de sólidos

Desvio	Causas	Fatores Relevantes	Efeitos	Freq.	Sever.	Grau de Risco
Nenhum fluxo de polpa de minério	Obstrução da sucção	Contaminantes presentes no material sedimentado na bacia	Acúmulo de material sedimentado na bacia, redução a sua área útil, risco de transbordo de efluente não tratado.	Provável	Crítico	Muito alto
Nenhum fluxo de polpa de minério	Quebra da bomba.	Desgaste mecânico de peças ou componentes.	Acúmulo de material sedimentado na bacia, redução da área útil, risco de transbordo de efluente não tratado.	Provável	Muito crítico	Muito alto
Menos fluxo de polpa de minério	Quebra do escarificador	Desgaste mecânico de peças ou componentes; Esforço excessivo.	Acúmulo de material sedimentado na bacia, redução da área útil, risco de transbordo de efluente não tratado.	Provável	Crítico	Muito alto
Contaminação do fluxo de material	Vazamento de óleo, lubrificantes ou combustível.	Sistema de tratamento não preparado para tratar materiais contaminados.	Contaminação do efluente da estação com resíduo oleoso	Provável	Crítico	Muito alto

Fonte: Próprio autor.

Com a análise da frequência e severidade realizada, o grau de risco pôde ser classificado como muito alto para qualquer desvio listado, independentemente da causa que o gerou. Isso porque há uma expectativa elevada com relação à frequência, o que leva ao provável acometimento das causas levantadas. Atrelada a esta expectativa, há também uma severidade crítica ou muito crítica, demonstrando uma grande extensão de seus impactos para o processo. Isso fez com que este equipamento se tornasse prioritário para a análise.

As seguintes respostas foram propostas para conter os riscos provenientes dos desvios levantados: instalar crivo na sucção da bomba, realizar manutenções preventivas, manter uma bomba e demais componentes sobressalentes, realizar inspeções preventivas e utilizar uma bomba com acionamento elétrico. Com base nessas respostas, os riscos foram reclassificados, conforme Quadro 7.

Quadro 7 – Reclassificação dos riscos para os nós da bomba de recuperação após respostas

Desvio	Recomendações Sugestões	Nova Freq.	Nova Sev.	Risco Resid.	Observações
Nenhum fluxo de polpa de minério	Instalar crivo na sucção da bomba.	Remoto	Grave	Médio	Importante considerar um crivo que não permita passagem de contaminantes, mas que não gere restrição crítica para a vazão da bomba.
Nenhum fluxo de polpa de minério	Realizar manutenções preventivas na bomba, manter bomba sobressalente.	Pouco provável	Grave	Médio	A bomba sobressalente é de extrema importância para substituição imediata em caso de quebra.
Menos fluxo de polpa de minério	Realizar inspeções e manutenções preventivas no escarificador, baixar gradativamente o escarificador no material sedimentado, manter sobressalente para o escarificador.	Pouco provável	Grave	Médio	
Contaminação do fluxo de material	Utilizar bomba elétrica na balsa de dragagem.	Muito remoto	Moderado	Baixo	A bomba elétrica praticamente elimina o risco de contaminação.

Fonte: Próprio autor.

Com as respostas propostas, nota-se uma diminuição tanto na frequência esperada quanto na severidade dos efeitos, o que fez com que o risco residual calculado reduzisse de muito alto para médio, ou mesmo baixo no caso da contaminação do fluxo do material. Porém, algumas observações podem ser feitas: Primeiramente, a implementação total das respostas é essencial para que a diminuição do risco ocorra no patamar explicitado pela ferramenta. Outra questão importante é que respostas como realizar inspeções e manutenções preventivas ultrapassam as responsabilidades do projeto e dependem da gestão da planta para garantir sua execução adequada. Quanto aos crivos a serem instalados nas bombas, esses precisam ser calculados de forma a conter os contaminantes, porém sem reduzir em excesso o volume de sucção, o que poderia acarretar a perda de eficiência do sistema.

5.2 Bomba de dosagem de coagulante

A bomba de dosagem de coagulante é um equipamento responsável pela inserção do produto coagulador na polpa de material recuperado, presente na bacia de decantação. Este equipamento garante a dosagem do coagulante em quantidade adequada para o tratamento do efluente o que é feito por meio do ajuste da velocidade rotação.

O coagulante é um reagente que tem por função reduzir a tensão ou as forças que mantêm as partículas separadas e em suspensão dentro da polpa. Sua ação facilita com que as partículas se aglomerem em frações de maior massa para a sua decantação (Carvalho, 2008). Uma falha na dosagem de coagulante pode causar problemas sérios, incluindo o descarte de efluentes fora dos limites de qualidade para o ambiente.

Devido a sua criticidade para o sistema de tratamento de efluentes, a bomba de dosagem foi considerada como um dos nós prioritários para a realização do HAZOP. Das palavras guia aplicadas durante a análise do parâmetro fluxo, duas geraram potenciais desvios par o processo: nenhum e menos. Assim, dois desvios foram levantados, os quais estão relacionados à inexistência de fluxo de coagulante e à diminuição do fluxo, conforme apresentado no Quadro 8. As principais causas para os desvios encontrados são a obstrução da bomba de coagulante, válvulas não posicionadas com a abertura correta, falha da bomba, nível baixo de coagulante, sistema de dosagem desregulado e falha na indicação da sonda de verificação da qualidade da água que envia informações para a bomba dosadora.

Quadro 8 - Aplicação de HAZOP para o nó da bomba de dosagem de coagulante

Desvio	Causas	Fatores Relevantes	Efeitos	Freq.	Sever.	Grau de Risco
Nenhum fluxo de coagulante	Obstrução da bomba de coagulante		Efluente não conforme, sem o tratamento adequado	Pouco provável	Crítico	Alto
Nenhum fluxo de coagulante	Válvulas não posicionadas		Efluente não conforme, sem o tratamento adequado	Provável	Crítico	Muito alto
Nenhum fluxo de coagulante	Falha da bomba		Efluente não conforme, sem o tratamento adequado	Provável	Crítico	Muito alto

Nenhum fluxo de coagulante	Nível baixo de coagulante		Efluente não conforme, sem o tratamento adequado	Pouco provável	Grave	Médio
Menos fluxo de coagulante	Sistema de dosagem desregulado.	Falta de padrão de dosagem	Efluente sem o tratamento adequado	Provável	Crítico	Muito alto
Menos fluxo de coagulante	Falha na indicação da sonda de verificação da qualidade da água	Falta de calibração da sonda de verificação	Efluente sem o tratamento adequado	Provável	Crítico	Muito alto

Fonte: Próprio autor.

A relação entre a frequência dos riscos observados, os quais variam entre pouco provável e provável, com a severidade, classificada como crítica para todos os riscos encontrados resultou em um grau de risco considerável. Foram observados 4 riscos muito altos, 1 risco alto e 1 risco médio.

As respostas sugeridas para a tratativa dos riscos concentraram-se tanto na redução da frequência quanto da criticidade. Foram propostas medidas que vão desde mudanças no sistema, com a inserção de água para a limpeza dos componentes, como relacionadas a procedimentos de manutenção, testes e inspeção. Estas respostas puderam reduzir significativamente os riscos, os quais foram classificados após a definição das medidas como 4 riscos médios e 1 risco alto, como mostrado no Quadro 9.

Quadro 9 - Reclassificação dos riscos para o nó da bomba de dosagem após respostas

Desvio	Recomendações/Sugestões	Nova Freq.	Nova Sever.	Risco Resid.	Observações
Nenhum fluxo de coagulante	Realizar injeção de água para limpeza da linha; Se necessário desacoplar e realizar a desobstrução.	Pouco provável	Moderado	Médio	
Nenhum fluxo de coagulante	Criar procedimento e <i>check list</i> operacional e treinar equipe.	Pouco provável	Moderado	Médio	Os treinamentos devem conter testes para verificação do aprendizado.
Nenhum fluxo de coagulante	Realizar manutenções preventivas na bomba; manter bomba sobressalente.	Pouco provável	Grave	Médio	
Nenhum fluxo de coagulante	Garantir nível mínimo de coagulante; verificar ajustes de dosagem.	Pouco provável	Moderado	Médio	

Menos fluxo de coagulante	Realizar testes de proveta para verificar dosagem de coagulante e realizar os ajustes de dosagem do sistema; criar padrão de dosagem para verificação pela equipe de operação.	Pouco provável	Grave	Médio	Estes itens devem ser incluídos nos procedimentos e treinamentos das equipes.
Menos fluxo de coagulante	Garantir calibração da sonda de verificação da qualidade da água, inserindo no plano de manutenção do instrumento.	Pouco provável	Crítico	Alto	Seguir as regras de calibração de instrumentos estipuladas em normas.

Fonte: o autor.

Quanto ao risco potencial relacionado à falha na sonda de verificação da qualidade da água, o qual permaneceu como alto após as medidas propostas, deve ser dada uma atenção especial. Embora a probabilidade de ocorrência tenha sido reduzida de provável para pouco provável, esta redução não foi suficiente para uma contenção mais expressiva. Para esse risco, sugere-se que a análise seja revisitada para avaliar outras possíveis respostas com a equipe, para que se possa reduzir a sua severidade.

5.3 Resultados gerais da aplicação do HAZOP

Por intermédio dos passos metodológicos propostos, atrelados a experiência da equipe, os desvios de cada um dos nós definidos foram levantados, juntamente com suas possíveis causas e efeitos. Foram totalizados 31 riscos provenientes destes desvios, os quais foram classificados de forma preliminar, antes da aplicação das medidas de resposta (Figura 6). Por meio da classificação, observou-se que a maior parte dos riscos foram categorizados como muito altos, representando um total de 14 riscos ou 45% do montante levantado. Dos riscos restantes, 12 foram considerados de grau alto (39%) e apenas 5 de grau médio (16%).

Figura 6 – Matriz de frequência e severidade dos riscos levantados

Matriz de Risco		Severidade					
		Muito leve	Leve	Moderado	Grave	Crítico	Muito crítico
Frequência	Muito Provável						
	Provável			2	5	12	2
	Pouco provável				3	7	
	Remoto						
	Muito remoto						
Legenda:		Aceitável	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto	

Fonte: Próprio autor.

Com a definição de medidas de resposta para os desvios encontrados, os riscos residuais foram reclassificados, mostrando um panorama consideravelmente diferente do inicial. Neste panorama, os riscos estão agora distribuídos entre os graus baixo, médio e alto. Conforme apresentado na Figura 7, estão presentes agora 3 riscos de grau alto, o que equivale a aproximadamente 10% do total levantado, 24 de grau médio (77%) e 4 de grau baixo (13%). Desta forma, se comparada à situação anterior à definição das respostas, algumas observações podem ser feitas: Primeiramente, os riscos considerados como muito altos, foram 100% mitigados, tendo esses apresentado uma redução considerável em seu grau de risco. Não existem mais riscos de grau muito alto no projeto. Em segundo lugar, os riscos considerados como altos, os quais representavam 39% do montante, foram em muito reduzidos, somando apenas 10% após as medidas resposta. Porém ainda há preocupação com os 3 riscos residuais que se encontram nesta classificação. Por fim, 90% dos riscos tratados puderam ser classificados como de grau médio e baixo, o que demonstra uma considerável redução do nível de risco total do projeto.

Figura 7 - Matriz de frequência e severidade após respostas para minimização dos riscos

Matriz de Risco		Severidade					
		Muito leve	Leve	Moderado	Grave	Crítico	Muito crítico
Frequência	Muito Provável						
	Provável						
	Pouco provável		2	6	10	3	
	Remoto			2	4	2	
	Muito remoto			2			
Legenda:		Aceitável	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto	

Fonte: o autor.

A Tabela 1 representa a variação percentual do grau de risco obtida com a aplicação da ferramenta. Destaca-se a redução dos riscos de maior grau.

Tabela 1 – Redução percentual dos riscos por faixa

Grau de risco	Classificação inicial	Classificação após respostas
Muito alto	45%	0%
Alto	39%	10%
Médio	16%	77%
Baixo	0%	13%

Fonte: o autor.

Embora a redução dos riscos do projeto tenha sido elevada, ainda existem vários pontos de atenção que deverão ser tratados pela equipe. Esses pontos devem fazer parte de novas reuniões de análise de riscos em que outras possibilidades de resposta devem ser discutidas. Para tal, novas ações devem ter como foco uma redução ainda maior dos riscos residuais verificados, com aportes de orçamento e ampliação das medidas cabíveis.

6 DISCUSSÃO

A aplicação da ferramenta HAZOP no projeto da ETEI foi satisfatória e cumpriu os principais objetivos necessários ao gerenciamento de riscos em projetos. Estes objetivos dizem respeito à identificação dos riscos, mensuração e desenvolvimento de ações para controlá-los (Oliveira; Silva; Giordano, 2014). Mais que isso, por meio da análise do impacto das ações de resposta determinadas, foi possível verificar de forma qualitativa o quão efetiva as medidas de controle estabelecidas serão para o projeto.

Por meio do HAZOP foi possível aliar as competências individuais com as vantagens do trabalho em equipe (Herrera *et al.* 2018). Isso foi evidenciado quando os riscos de processo foram discutidos. Esses envolveram sistemas elétricos e mecânicos, os quais só puderam ser verificados em profundidade por meio da participação de profissionais de diferentes áreas de atuação, conforme previsto por (DUNJO, 2010). Esta análise, se realizada por apenas uma pessoa ou equipe uni disciplinar estaria sujeita a falhas, uma vez que parte do conhecimento necessário estaria alheio aos envolvidos.

Durante a realização da análise, notou-se que o grupo apresentou dificuldades em estabelecer os subsistemas e nós do projeto. Isto aconteceu devido à divisão de

subsistemas maiores para a análise (Souza; Campello; Lima; Fusaro; 2017). Após a consulta e orientação com especialistas, os sistemas foram novamente divididos, agora em subsistemas menores, facilitando o detalhamento e reduzindo a possibilidade de que algum nó fosse esquecido. Este ponto também contribuiu para a redução do tempo de análise de cada subsistema.

Com relação à capacidade de levantamento de riscos relevantes, a experiência com o HAZOP demonstrou bons resultados. De acordo com (Dunjo, 2010) o procedimento utilizado deve promover meios sistemáticos de análise, tanto para operações normais quanto anormais da planta. A aplicação das palavras guias juntamente com os parâmetros de processo gerou agilidade e foco para a análise. Por meio deles foi possível fixar a atenção no processo e conduzir o raciocínio do grupo. Porém, é importante destacar que, para isso, as informações do projeto necessitaram estar disponíveis em número e condições adequadas.

A aplicação do HAZOP no projeto da ETEI foi iniciada durante a elaboração do projeto detalhado, paralelamente às atividades de implantação do mesmo. O projeto detalhado consiste na geração de desenhos e documentos que serão utilizados para a compra de materiais e equipamentos, assim como para orientar a implantação do projeto em si. Esse não é considerado como parte da fase de planejamento do projeto e sim de execução. A elaboração do HAZOP durante o desenvolvimento do projeto detalhado foi um fator dificultador, uma vez que as soluções de engenharia do projeto estavam consolidadas, o que acabou por limitar as ações de resposta aos riscos. Desta forma, aconselha-se que o HAZOP seja aplicado no mínimo uma vez durante o projeto básico (Hurme, 2005), momento em que o empreendimento é caracterizado com um nível maior de precisão.

A aplicação do HAZOP possibilitou identificar problemas de engenharia que não foram contemplados nas etapas iniciais de elaboração do projeto. Por exemplo, a falta de medição de densidade em alguns pontos do processo, se contemplada antes do início das obras, apresentaria maior viabilidade de implantação. A correção destes problemas após a fase de projeto gera retrabalho e aumenta os custos, conforme enfatizado por Santos, Starling e Andery (2015). Segundo os autores, quanto mais distante o projeto está do seu início, maiores os custos das mudanças implementadas. Isso reforça a necessidade de aplicação do HAZOP nas etapas iniciais do projeto.

Quanto ao escopo de aplicação do HAZOP, nota-se que a ferramenta sozinha não pode ser considerada como um meio geral para a gestão de riscos. O HAZOP

tem como foco riscos de processo, de forma que o seu escopo de atuação é técnico e normalmente limita-se ao sistema em análise. Desta forma, o HAZOP não envolve uma gama de outros riscos gerenciais relacionados ao projeto, os quais necessitam de uma verificação mais próxima. Para ilustrar esta questão, pode-se citar os riscos relacionados às necessidades de alteração do posicionamento da ETEI devido questões ambientais externas. Este risco foi percebido já com o projeto em andamento e resultou em uma alteração substancial no escopo de implantação. Como consequência, foram observados impactos negativos no cronograma e nos custos, dada a necessidade de refazer desenhos e documentos de projeto, assim como de alinhá-los novamente com os órgãos competentes. Por se tratar de um fator externo ao projeto, este não foi previsto por meio do HAZOP.

Uma forma de mitigar as limitações relacionadas ao escopo de análise é tornar o HAZOP parte de um sistema de gerenciamento de risco maior, no qual seu uso se dá de forma conjugada com outras ferramentas, como a Análise de Modo e Efeito de Falha (AMEF), Análise de Árvore de Falhas (AAF), entre outras (Dunjo, 2010). Conforme a visão da equipe envolvida na aplicação, a utilização de abordagens e técnicas diferentes reduz a possibilidade de que algum item, equipamento ou atividade não seja considerada na análise. Além disso, permite avaliar outras condições como interferências de projeto, atendimento a normas e leis, entre outros.

Por fim, mesmo sendo realizada de forma isolada, a aplicação do HAZOP mostrou resultados muito relevantes no projeto da ETEI. Estes podem ser vistos na eliminação dos riscos de grau muito alto, assim como na redução generalizada dos riscos residuais. Deve-se ressaltar que os desvios que apresentaram riscos residuais altos mesmo depois da estipulação de medidas de resposta, constituem pontos de atenção para o projeto. Como o gerenciamento dos riscos é um processo contínuo e não pontual, esses deverão ser reavaliados e novas alternativas de resposta deverão ser propostas. Para tal, é necessário o devido reporte ao gerente de projeto, para que medidas de nível superior possam ser tomadas, uma vez que extrapolam a capacidade e atribuições da equipe de análise do HAZOP. Esses precisarão de ações de contingência até a sua plena resolução, sendo seu monitoramento e controle essenciais para garantir a segurança da operação da ETEI.

7 CONCLUSÃO

Este artigo teve como objetivo a avaliação de riscos existentes em uma Estação de Tratamento de Efluentes Industriais por meio da ferramenta HAZOP. Para isso foi realizada uma pesquisa-ação com base em um projeto de uma empresa mineradora de grande porte. Por meio da aplicação da ferramenta foi possível levantar os principais desvios presentes no empreendimento projetado, estipular respostas de controle e reduzir os riscos encontrados.

A utilização do HAZOP proporcionou a equipe o levantamento de 31 riscos potenciais, distribuídos em todos os subsistemas analisados. Sua utilização permitiu classificar os riscos encontrados conforme o grau de risco, definir respostas com base nas causas e efeitos estimados, eliminar riscos de grau muito alto e reduzir de riscos residuais de forma geral.

Com a aplicação do HAZOP, alguns achados de pesquisa puderam ser destacados. Dentre eles, a utilização de equipes multidisciplinares, que não somente melhoram a visão sobre o risco, mas também garantem uma maior profundidade de análise. Além disso, verificou-se que a divisão do processo em subsistemas menores facilita o detalhamento e reduz a possibilidade de que algum nó seja esquecido. Verificou-se também que a aplicação do HAZOP deve ser realizada o quanto antes possível e deve acontecer no mínimo uma vez durante a execução do projeto básico. Por fim, para permitir o gerenciamento total dos riscos, verificou-se que o HAZOP deve ser utilizado em conjunto com outras ferramentas capazes de ampliar o escopo de análise para além do processo.

Durante a execução dos estudos, algumas limitações foram encontradas. Dentre elas destaca-se a utilização de algumas informações parciais ou preliminares durante a análise dos riscos. Isso aconteceu em função de atrasos no cronograma por parte da empresa executante do projeto. Porém, deve-se ressaltar que os impactos gerados foram pequenos, não fornecendo grande influência sobre os resultados encontrados.

Como sugestão para pesquisas futuras, pode-se propor a análise empírica dos benefícios da aplicação do HAZOP em conjunto com outras ferramentas clássicas de gerenciamento de riscos. Estudos do gênero podem ajudar com a proposição de meios ainda mais eficientes para lidar com riscos relacionados a projetos e operações.

8 REFERÊNCIAS

ALVES; José Luiz Lopes. **A técnica HAZOP, como ferramenta de aquisição de dados para avaliação da confiabilidade humana na indústria química.**

Dissertação apresentada ao instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica da Universidade Estadual de Campinas. Campinas (SP), 1997.

ANALOUEI, Razieh; TAHERIYOUN, Masoud; AMIN, Md Tanjin. Dynamic Failure Risk Assessment of Wastewater Treatment and Reclamation Plant: An Industrial Case Study. **Safety**, v. 8, n. 4, p. 79, 2022.

BAJIĆ, B., RIKALOVIC, A., SUZIĆ, N.; PIURI, V. Industry 4.0 Implementation Challenges and Opportunities: A Managerial Perspective. **IEEE Systems Journal**, 15, 546-559, 2021.

CARVALHO, Maria José Herkenhoff. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável.** Dissertação apresentada ao programa de Pós graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá. Maringá (SP), 2008.

CASTRO, R. P. A. de; GONÇALVES, F, S. P. **Compliance e gestão de riscos nas empresas estatais.** 2 ed. Belo Horizonte: Fórum, 2019.

CHERAGHI, Morteza.; BALADEH, Aliakbar Eslami.; KHAKZAD, Nima. A fuzzy multi-attribute HAZOP technique (FMA-HAZOP): Application to gas wellhead facilities. **Safety Science** 114, p. 12–22, 2019.

DAHLIANI, L., WIRANDAYU, S.; DEWANTARA, M. Implementation of technology 4.0 in achieving the effectivity and efficiency of the production process in palm oil plantation. **E3S Web of Conferences**, 2022.

DUNJÓ, Jordi *et al.* **Hazard and operability (HAZOP) analysis. A literature review.** **Journal of hazardous materials**, v. 173, n. 1-3, p. 19-32, 2010.

ELFAR, Ibrahim Abou Bakr Ibrahim; RADWAN, Eman Hashem; MUHAMMAD, Khaled Muhammad Ali. Risk and Crisis management for engineering projects, solutions and proposals for environment security. **Journal of Contemporary Technology and Applied Engineering**, v. 2, n. 1, p. 42-55, 2023.

FRAGA, Bruno Alvarenga. **Análises de alternativas de fechamento de barragens.** Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP – Ouro Preto (MG), 2019.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 6 ed. São Paulo (SP): Atlas, 2017.

GUO, Lijie; KANG, Jianxin. An extended HAZOP analysis approach with dynamic fault tree. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 38, p. 224-232, 2015.

HERRERA, Miguel Angel de la O; LUNA, Aderval Severino; COSTA, Antonio Carlos Augusto da; LEMES, Elezer Monte Blanco. **Risk Analysis: A generalized Hazop methodology state-of-the-art, applications, and perspective in the process industry**, v.6, n.2, p.106-121, 2018.

HOKMABADI, Rajabali; KARIMI, Ali. Application of Hazard and Operability Analysis (HAZOP) Method for Risk Analysis in CGS Station. **Archives of Occupational Health**, v. 6, n. 3, p. 1296-1308, 2022.

HURME, Markku; RAHMAN, Mostafizur. Implementing inherent safety throughout process lifecycle. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 18, n. 4-6, p. 238-244, 2005.

ILHANEZ, Marcelo Praxedes Larrea. **Avaliação de indicadores de segurança em indústrias de alto risco no contexto da Engenharia de Resiliência: uma revisão sistemática da literatura**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2023.

ISO. International Organization for Standardization. ISO 31000:2009. 2015b. Disponível em: http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=43170. Acesso em: 16 ago. 2021

LIM, C., LIM, S., HOW, B., Ng, W., NGAN, S., LEONG, W.,; LAM, H.. A review of industry 4.0 revolution potential in a sustainable and renewable palm oil industry: HAZOP approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2021.

MARHAVILAS, Panagiots K.; FILIPPIDIS, Michail.; KOULINAS, Georgios. K.; KOULOURIOTIS, Dimitios. E. An expanded HAZOP-study with fuzzy-AHP (XPA-HAZOP technique): Application in a sour crude-oil processing plant. **Safety science**, 124, 104590. 2020.

MENDONÇA, Ana Lisa Português Valagão de. Métodos de avaliação de riscos. **Contributo para a sua aplicabilidade no setor da construção civil**. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia do Ambiente. Universidade do Algarve. Faculdade de ciências e tecnologia. 2013.

MENG, Yifei et al. Alarm management optimization in chemical installations based on adapted HAZOP reports. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 72, p. 104578, 2021.

MOHAN, Chandra; ROBINSON, Jenifer. Environmental impacts of industrial waste and wastewater treatments. In: GURNULE, Wasudeo B. **Science of Environment**. 2. ed. Nagpur: Scieng Publications, 2022, cap. 13 p. 111-118.

NABAWY, Mohamed; KHODEIR, Laila M. A systematic review of quantitative risk analysis in construction of mega projects. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 11, n. 4, p. 1403-1410, 2020.

OLIVEIRA, Guilherme Saramago; MIRANDA, Maria Irene; SAAD, Núbia dos Santos. Metassíntese: uma modalidade de pesquisa qualitativa. **Cadernos da FUCAMP**, v. 19, n. 42, 2020.

OLIVEIRA, Shyrlene Lima de Aquino; FILHO, Olavo Barbosa; GIORDANO, Gandhi. Análises de risco e confiabilidade aplicadas a gestão de estações de tratamento de efluentes industriais (ETELs): uma revisão crítica. **Revista de Gestão e Projetos**, São Paulo, v. 4, n. 3, p 46-72, set./dez. 2014

PENELAS, Artur de J.; PIRES, José CM. Hazop analysis in terms of safety operations processes for oil production units: A case study. **Applied Sciences**, v. 11, n. 21, p. 10210, 2021.

PINHEIRO, Dilaelson Ferreira; MARTINS, Harley dos Santos. Aplicação da técnica HazOp como ferramenta de gestão de riscos em uma distribuidora de bebidas. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, e3349119951, 2020.

RASCHLE, Lilian Heeren. **Avaliação de desempenho para estações de tratamento de efluentes industriais**. Dissertação para obtenção de título de Mestre. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 2013.

RIKALOVIC, A., SUZIĆ, N., BAJIĆ, B., & PIURI, V. Industry 4.0 Implementation Challenges and Opportunities: A Technological Perspective. **IEEE Systems Journal**, 16, 2797-2810, 2022.

SALUNKE, Surajkumar D.; LENDE P. K. Analysis of Potential Risks in Construction Project. **International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology**, v. 11, n. 7, p. 1388-1393, 2023.

SANTOS, Henrique de Paula; STARLING, Cícero Murta Diniz; ANDERY, Paulo Roberto Pereira. Um estudo sobre as causas de aumento de custos e de prazos em obras de edificações públicas municipais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 225-242, 2015.

SAUER, Maria Eugênio Lago Jaques. **Análise dos procedimentos de partida do reator IEA-R1 – Uma aplicação da técnica HAZOP**. Dissertação de mestrado apresentada ao IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares). São Paulo. 2000

SOUZA, Thiago Coutinho de; CAMPELLO, Isabela; FUSARO, Teresa Cristina; LIMA, Luciana Moraes Kelly. Métodos de análise de risco: aplicabilidade e limitações no gerenciamento de riscos associados a barragens. *In: II SEMINÁRIO DE GESTÃO DE RISCOS E SEGURANÇA DE BARRAGENS DE REJEITOS – SGBR, Anais [...]*, 2017.

SUDARSANA, Dewa Ketut. A concept model to scale the impact of safety risk in a construction project using a semi quantitative method. **Civil engineering and architecture**, v. 9, n. 1, p. 263-269, 2021.

THOMÉ, Romeu; PASSINI, Matheus Leonardo. Barragens de rejeitos de mineração: características do método de alteamento para montante que fundamentaram a suspensão de sua utilização em Minas Gerais. **Ciências Sociais Aplicadas em Revista**, v. 18, n. 34, p. 49-65, 2018.

VELOSO, Mislene Rabelo Ramos; SILVA, Viviane Lima. **A importância de gerenciar riscos em projetos. Disponível em:** https://semanaacademica.com.br/system/files/artigos/riscos_em_projetos.pdf. Acesso em: 16 ago. 2021.

Autores

Evandro José de Castro Lopes

Profissional Graduado em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário Presidente Antônio Carlos (UNIPAC), e pós graduado em Engenharia de Projetos e Operações pelo IFMG. Ocupa o cargo de Coordenador de prontidão e processo operacional na VALE, tendo atuado na área de mineração na empresa desde 2001.

Leandro César Mol Barbosa

Profissional Graduado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Ouro Preto, especialista em Engenharia de Projetos Industriais pela Newton Paiva, especialista em Docência pelo IFMG, Mestre em Administração pela PUC e doutorando em Educação pela UFMG. Atua como professor do departamento de Engenharia de Produção do IFMG-Congonhas, já tendo sido coordenador do curso de pós-graduação em Gestão de Projetos e Operações, do qual foi presidente da comissão responsável pela criação e implementação do curso. Na docência, destacam-se atuações em cursos de graduação em engenharia de produção no IFMG e na UFV, em cursos de pós-graduação como Gestão de Projetos e Operações no IFMG, Engenharia de Projetos Industriais na UNILESTE e PUC Minas, Gerenciamento de Projetos Industriais na PUC e Gestão de Projetos na Newton Paiva. Mais de 10 anos de experiência profissional na área de gerenciamento, planejamento e controle de projetos e empreendimentos obtidos nas empresas BUNGE, Lyon Engenharia, COBRAPI e SEI Engenharia, atuando em projetos industriais de grande porte, contemplando o planejamento e controle de todo se ciclo de vida (estudos de pré-viabilidade, projeto conceitual, básico e detalhado, suprimentos, obras civis, montagem eletromecânica, comissionamento e start-up).

Renata Veloso Santos Policarpo

Pós Doutora na EESC - Universidade de São Paulo - USP. Doutora em Administração pela Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Mestre em Administração. Especialista em Gestão Estratégica em Finanças pela UFSJ (2006) e MBA em Gestão de Negócios pela Fundação Getúlio Vargas FGV (2005) com módulo internacional pela Ohio University. Graduada em Administração pela UFSJ (2002) e em Ciências Contábeis. Professora de graduação, pós-graduação e pesquisadora no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais Campus Congonhas. Tem experiência na área de Administração e Engenharia de Produção, atuando principalmente nos seguintes temas: Engenharia Econômica, Administração Financeira, Gestão Estratégica em Organizações, Comportamento Organizacional, Desempenho Organizacional e Sustentabilidade.

Marco Antônio Sabará

Possui graduação pela Universidade Federal de São João Del-Rei - UFSJ (1995), licenciatura plena para as disciplinas técnicas da educação profissionalizante pela UTRAMIG (1998) e Mestrado em Tecnologias para o Desenvolvimento Sustentável pela Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ (2019). Professor de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico, em

regime de dedicação exclusiva, no Instituto Federal de Minas Gerais - IFMG, Campus Congonhas/MG, desde 29/07/2014. Atua no Departamento de Mecânica, lecionando disciplinas nas áreas de manutenção mecânica, sistemas fluidomecânicos e sistemas térmicos nos níveis técnico, graduação e pós-graduação. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Análise de Falhas Aplicada e Treinamento Técnico. Possui MBA em Engenharia e Inovação pelo UNISEB (2015). Possui especialização em Docência com Ênfase em Educação Profissional e Tecnológica no Instituto Federal de Minas Gerais - IFMG, campus Arcos/MG. É doutorando no Programa de Física e Química dos Materiais (FQMAT) da UFSJ - Universidade Federal de São João del Rei (Campus Dom Bosco).



Artigo recebido em: 21/09/2021 e aceito para publicação em: 28/07/2024
DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v24i3.4454>