

ARTEFATO INTEGRADO PARA FOMENTO DAS INICIATIVAS DE SUSTENTABILIDADE E TRANSFORMAÇÃO DIGITAL: um estudo em uma mineradora brasileira

LUDMILA BEGHINI VIRIATO SANCHEZ

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG)

BRUNA FERREIRA PEREIRA DA SILVA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG)

LEYDIANA DE SOUSA PEREIRA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG)

RICARDO SILVEIRA MARTINS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG)

Agradecimento à órgão de fomento:

O presente estudo foi realizado com apoio da Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (PRPq/UFMG) sob o projeto número 30563 (UFMG/RTR/PRPQ/Pesquisa Institucional de Auxílio à Pesquisa de Docentes Recém Contratados pela UFMG) - Edital PRPq - 09/2023, a quem os autores expressam agradecimentos.

ARTEFATO INTEGRADO PARA FOMENTO DAS INICIATIVAS DE SUSTENTABILIDADE E TRANSFORMAÇÃO DIGITAL: um estudo em uma mineradora brasileira

1. INTRODUÇÃO

A indústria da mineração brasileira desponta em relevância nos indicadores da economia nacional e internacional. Em 2022, o setor da mineração registrou um faturamento de R\$ 250 bilhões, diante de uma produção de 1,05 bilhão de toneladas (PMB, 2023). Neste mesmo ano, em dimensões geográficas, a mineração impactou 2.699 municípios, montante que corresponde a 48% dos municípios brasileiros (PMB, 2023). De acordo com Leão e Rabelo (2023), a cadeia produtiva da economia mineral oscilou entre 2,5% e 4% do PIB brasileiro, entre 2000 e 2019.

Além da importância econômica, nos últimos dez anos o setor da mineração brasileira protagonizou duas grandes catástrofes socioambientais em virtude do rompimento da barragem de Fundão em Mariana-MG e da barragem da mina Córrego do Feijão em Brumadinho-MG (Botelho *et al.*, 2021). Acidentes que provocaram devastação ambiental, problemas de ordem social e, obviamente perda de confiança em todo o setor. Esses fatos integrados à demanda global por mudanças impulsionaram a necessidade de atenção para as ações em busca da mineração sustentável. Neste contexto ressaltam-se os aclames ao firmamento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), o que culminou na agenda de compromissos até 2030, a qual recebe o nome de Agenda 2030 (ONU-Brasil, 2024).

No entanto, atividade da mineração tem adotado, ainda que de maneira muito incipiente, práticas mais sustentáveis, em vista a reduzir os impactos das suas atividades ao meio ambiente e às comunidades anfitriãs. Maiores resistências estão presentes em países com economia subdesenvolvida (Blinova *et al.*, 2022). Em estudo realizado no Brasil identificou que as mineradoras continuam reativas e no limiar das exigências legais em termos da sustentabilidade e, expansão desordenada das áreas de mineração impõem externalidades sociais e ambientais, além de reduzir a vida útil das jazidas minerais (Angotii *et al.*, 2024). Isso destaca a importância de intensificar as ações para minimizar os impactos ambientais, promovendo uma abordagem mais equilibrada e responsável para as atividades da mineração (Angotii *et al.*, 2024; Blinova *et al.*, 2022).

Essa tradição nas atividades da mineração também é refletida com relação a introdução da inovação em seus processos e estrutura. Vial (2021) e Morakanyane *et al.* (2017) explicitam a transformação digital como um processo evolutivo que aproveita as capacidades digitais e tecnológicas para impulsionar que modelos de negócios, processos operacionais e experiências do cliente criem maior valor às partes interessadas. Mesmo com essa projeção de melhorias de desempenho, diante do uso intensivo e direcionado da tecnologia, esta é uma realidade ainda disforme ao setor da mineração. Em termos corroborativo, considere o estudo do *McKinsey Global Institute* (MGI) que examinou o estado da digitalização em diferentes setores da economia dos Estados Unidos, um país reconhecido pela sua supremacia econômica e tecnológica, e constatou que há consideráveis oportunidades de melhoria no setor mineração (Gandhi *et al.*, 2016).

As iniciativas de transformação digital vão de encontro aos diferentes objetivos declarados na Agenda 2030, entre os quais destaca-se o ODS 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura Este objetivo visa modernizar a infraestrutura com maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente corretos (ONU-Brasil, 2024). Neste âmbito surge a questão de pesquisa: Quais os fatores críticos

(impulsionadores ou bloqueantes) em busca a consolidação de iniciativas sustentáveis e de transformação digital neste ambiente da indústria da mineração?

Neste sentido, as abordagens do processo decisório podem proporcionar direcionamentos mais assertivos à organização. Processos formais de tomada de decisão estão sendo cada vez mais requisitados ao considerar o volume e diversidade de necessidades dos *stakeholders* que precisam ser compilados em um ato decisório (de Sousa Pereira; Morais, 2020). O objetivo deste estudo é construir um artefato integrado para fomento das iniciativas de sustentabilidade e transformação digital no ambiente das atividades de uma mineradora. Este artefato integrará os métodos de estruturação de problema do *Strategic Options Development and Analysis* (SODA) como um dispositivo de modelagem para extrair e registrar as opiniões dos especialistas sobre a situação problemática e do *Strategic Choice Approach* (SCA) em virtude da sua flexibilidade e abrangência a tratar o elemento incerteza, proporcionando entendimento desde o âmbito de valores dos stakeholders até necessidades de ambiente (Friend, 1992).

Uma inovação proposta neste estudo é a utilização dos métodos de estruturação de problemas SODA e SCA amplamente experimentados na academia (de Sousa Pereira; Morais, 2020; (Junior *et al.* 2014; Novani *et al.*, 2023), mas não para o objetivo de compreender a transformação digital e sustentabilidade em busca de uma mineração sustentável. Uma aplicação real foi desenvolvida em uma mineradora presente nas regiões mais afetadas pelos acidentes referenciados anteriormente. Esta mineradora possui sede em Belo Horizonte (MG) e unidades operacionais em Minas Gerais e no Espírito Santo e, possui a produção de pelotas de minério de ferro, matéria-prima para a indústria siderúrgica, como produto principal do seu portfólio. Em termos de resultados, a presente pesquisa alcançou uma compreensão integrada dos fatores críticos de sucesso para a mineração sustentável, além de uma lista de iniciativas para fomento das ações em busca da sustentabilidade e da transformação digital. O artefato proposto pode ser visto como um mecanismo analítico de decisão, e por sua flexibilidade pode ser útil a outras mineradoras com objetivos à mineração sustentável.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Transformação digital no setor de mineração

A transformação digital visa aprimorar uma entidade ao provocar mudanças significativas em suas estruturas por meio da combinação de tecnologias de informação, computação, comunicação e conectividade em vista a geração de valor (Vial, 2021; Nwankpa; Roumani, 2016). Demirkan *et al.* (2016) descrevem a transformação digital como uma mudança profunda e acelerada de atividades de negócios, processos, competências e modelos, aproveitando ao máximo as oportunidades proporcionadas pela tecnologia digital e seu impacto na sociedade de maneira estratégica. No âmbito corporativo, por exemplo, a transformação digital está presente pelo uso de *big data*, de análises de dados em tempo real, computação em nuvem, plataforma móvel e de mídia social, em vista a aumento nas vendas e produtividade, novas formas de interação com clientes, entre outros benefícios (Matt *et al.*, 2015). A transformação digital se tornou uma necessidade empresarial crucial, aproveitando as últimas tecnologias para aprimorar os processos operacionais, garantir competitividade estratégica, mitigar riscos e melhorar o desempenho empresarial (Lazarenko *et al.*, 2021).

Tal transformação na indústria da mineração é vista como um processo de adoção de tecnologias, mesmo que ainda de maneira insipiente e desintegrada. Entre os principais avanços, destacam-se o uso de dispositivos digitais, métodos, sistemas, dados digitalizados e análises avançadas (Zhou, 2024). A implementação destes recursos visa a

redução de custos, melhoria do desempenho operacional e transformação geral das práticas de mineração no sentido de torná-las mais seguras, mais eficientes e sustentáveis (Lazarenko *et al.*, 2021). Segundo o relatório da Ernst & Young Global (Mitchell, 2021), acredita-se que muitas empresas deste setor estão no segundo ou terceiro ano da jornada digital e, à medida que essa transformação se torna presente, o risco para a organização reduz. O impacto da COVID-19 destacou os benefícios de diversas tecnologias, como automação, Inteligência Artificial e *blockchain*, para ajudar a garantir a continuidade dos negócios. As empresas que investiram no avanço desta jornada estão atualmente usufruindo dos benefícios na geração de valor e, continuarão a ter uma vantagem competitiva para além da pandemia (Shearer; Mitchell, 2021).

De modo geral, as mineradoras em todo o mundo estão almejando melhor condicionamento nesta jornada digital. Issatayeva *et al.* (2023) apresentam a importância de ser mais digital para as empresas de mineração do Cazaquistão, cujo setor extrativista possui alta relevância para o país. Os autores abordam assuntos relacionados a competitividade, a descarbonização, a tomada rápida de ação para se adaptar a mudanças político-econômicas e a necessidade de diversificação. Adicionalmente, pontuam que a digitalização dos processos empresariais acelera a transição do Cazaquistão para uma economia sustentável e de baixo carbono, num contexto de intensa concorrência global e dos crescentes riscos geopolíticos (Issatayeva *et al.*, 2023). Complementando, Issatayeva *et al.* (2023) concluem que o processo de transformação digital deve ser sistêmico e permitir agilidade nas adaptações ao ambiente dinâmico.

De acordo com Zhironkin e Taran (2023) o setor da mineração, na próxima década, poderá sofrer um choque de investimentos e uma desestabilização do mercado global de matérias-primas. Como uma contramedida de longo prazo, propõe-se o desenvolvimento da mineração de superfície 4.0 como uma plataforma para a modernização acelerada de todo o setor ao nível da Indústria 4.0. As principais áreas de domínio da mineração de superfície 4.0 incluem: internet das coisas, gêmeos digitais, big data, computação em nuvem, sensores inteligentes, visualização 3D, blockchain, redes neurais e inteligência artificial, aprendizado de máquina, mineração não tripulada, veículos autônomos e drones (Zhironkin; Taran, 2023).

Além disso, Storey (2023) aponta que a mina do futuro envolverá menos *fly-in/fly-out* (FIFO) para o local da mina e mais *log-in/log-out* (LILO) em centros de operações remotos. A automação, a disponibilidade de dados e as telecomunicações melhoradas permitem, pela primeira vez, que um número crescente de operações de mineração seja realizado remotamente. Os autores pontuam a facilidade e maiores projeções de estudo em mineradoras localizadas em países desenvolvidos, a exemplo Austrália e Canadá (Storey, 2023). Complementarmente, Merma (2023) explora o ambiente das mineradoras do Peru. Em seu estudo, o autor conclui que o conceito de Mineração 4.0 não tem sido trabalhado nas abordagens estratégicas da mineração peruana, mesmo diante do uso de aplicações de tecnologias facilitadoras, principalmente por computação em nuvem, ciência de dados e cibersegurança (Merma, 2023).

Kilpin *et al.* (2023) investigam como a transformação digital pode apoiar a gestão de títulos de terras mineiras, também chamado de Direito Minerário, para criar transparência e responsabilização às partes interessadas, incluindo a população e os parceiros. Os autores propõem uma solução tecnológica baseada na Identidade Autossobrerana (do inglês *Self Sovereign Identity*) envolvendo o *blockchain* para resolver a falta de transparência e responsabilidade na gestão de títulos de terras de mineração (Kilpin *et al.*, 2023). A transformação digital no setor de mineração de carvão e minerais, mediante a um estudo realizado no Vietnã propôs que a digitalização em todas as etapas da cadeia de produção e de suporte é capaz de otimizar operações, reduzir custos,

umentar lucros, distribuir a cadeia de valor, elevar a competitividade, garantir a segurança no trabalho e contribuir para a proteção ambiental e exploração sustentável dos recursos minerais (Van Hau *et al.*, 2022).

2.2 Sustentabilidade e o setor da mineração: desafios e soluções

O conceito de limites planetários, extraído do Relatório Planeta Vivo (2014) da organização não governamental Fundo Mundial da Natureza (do inglês, *World Wildlife Fund*, WWF) identifica os processos ambientais que regulam a estabilidade do planeta. Esses limites estabelecem um ‘espaço seguro de operação’ para a humanidade, onde há chances de continuar desenvolvendo e prosperando por gerações. Ao ultrapassar estes limites, entra-se numa zona de perigo estando susceptível a mudanças abruptas e negativas (WWF, 2014). Assim como os demais setores, a mineração também está preocupada com os limites planetários, que condiz ao equilíbrio homem-ambiente. Segundo Azapagic (2004), o setor deve ser capaz de medir e avaliar o seu desempenho de sustentabilidade e demonstrar melhorias contínuas a longo prazo a fim de garantir a continuação da sua licença social para operar. A mineração é base da economia de diversos países e essencial para a vida cotidiana, entretanto as operações extrativistas conduzem invariavelmente a uma gama de impactos ambientais, incluindo o esgotamento de recursos não renováveis, a perturbação da paisagem e ameaças acima da média para a saúde e segurança dos trabalhadores e dos cidadãos (Azapagic, 2004).

Dilemas desta natureza impulsionaram a origem da “Iniciativa Global de Mineração” (IGM) e ao estudo “Mineração, Minerais e Desenvolvimento Sustentável” – MMDS (GMI, 2004). A IGM originou-se em uma reunião de vários CEO do setor da mineração em Londres em 1998 (Villas-Bôas, 2011). Em 2002, foi publicado no IIED – *International Institute for Environment and Development*, as principais conclusões do projeto MMSD, que abordam quatro pilares do desenvolvimento sustentável: Desenvolvimento econômico, desenvolvimento social, desenvolvimento ambiental e desenvolvimento de governança (IIED, 2002). Neste âmbito, pontua-se a Agenda 2030 que instituiu os ODS. Essencialmente, os ODS consistem em um apelo global para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade. Ao total, foram estabelecidos 17 objetivos que compõem uma agenda mundial para a construção e implementação de políticas públicas que visam guiar a humanidade até 2030 (ONU-Brasil, 2024).

No segmento da manufatura recebe destaque o 9º ODS - Indústria, Inovação e infraestrutura, que dentre seus objetivos pontuam-se: modernizar a infraestrutura com maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente corretos; fortalecer a pesquisa científica, incentivando a inovação e aumentando substancial do número de trabalhadores em pesquisa e desenvolvimento; e aumentar significativamente o acesso às tecnologias de informação e comunicação (ONU-Brasil, 2024).

O setor de mineração, devido a suas extensas atividades e presença proeminente nos países em desenvolvimento, possui fortes vínculos com questões abordadas em todos os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (RMF, 2020). Esses vínculos são claramente definidos no relatório de 2016 intitulado *Mapping Mining to the Sustainable Development Goals: An Atlas* (“Mapeando a Mineração para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Um Atlas”), produzido em parceria pelo *Columbia Center on Sustainable Investment*, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, Rede de Soluções para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas e o Fórum Econômico Mundial (UNDP, 2017).

Indo de encontro ao 9º ODS, alguns estudos de caso e iniciativas estão sendo implementados por empresas de mineração, como o caso da Anglo American, que

estabeleceu o programa *Zimele* ("colocar-se no lugar do outro"), para ajudar, com financiamento e apoio, sul-africanos marginalizados para construir suas pequenas e médias empresas (PME) e o da Logística do “Corredor de Nacala” que vai ligar a mina de carvão de Moatize, norte de Moçambique por via férrea até o porto de águas profundas em Nacala (UNDP, 2017). Além destes casos, Monteiro *et al.* (2019) identificaram tecnologias digitais, investigações científicas, inovação em equipamentos, contribuições em obras de saneamento, construção de estradas, ferrovias, pontes e habitação no setor da mineração indo também de encontro ao ODS 9.

Nesta caminhada em busca de se fazer uma mineração sustentável, a implementação de iniciativas de transformação digital permite acelerar e impulsionar o processo. Entretanto, o número de alternativas relacionadas à sustentabilidade e transformação digital na mineração é grande, o que leva a fazer-se necessário a utilização de ferramentas de processo decisório para auxiliar a identificação de critérios, a avaliação de alternativas e consequentemente a priorização efetiva.

2.3. Processo Decisório: Estratégias e Ferramentas para a Mineração Sustentável

Os estudos acerca do processo de tomada de decisão são interdisciplinares, incluindo psicologia, negócios, engenharia, pesquisa operacional, engenharia de sistemas e ciência da gestão (Chen, 2006). À medida que a sociedade se torna mais complexa, cresce a necessidade de decisões que equilibrem objetivos (critérios) conflitantes. Talvez a etapa mais criativa para tomar uma decisão é escolher os fatores que são importantes para essa decisão (Saaty, 1990). Silva *et al.* (2022) investigaram o processo de tomada de decisão na escolha e implementação de tecnologia digital para a Indústria 4.0 nas organizações e evidenciaram que tal processo tornou-se mais comum nos últimos anos, entretanto isso não se compara com o uso de fato das tecnologias.

Neste contexto de processo decisório, os PSMs são caracterizados como um conjunto de técnicas que visam apoiar decisões, individuais ou grupais, dentro de um ambiente complexo para chegar a um acordo sobre um determinado problema e assumir compromissos em forma de planos de ação (Mingers; Rosenhead, 2001). Tais métodos buscam construir um entendimento compartilhado, aplicados a problemas não estruturados com interesses conflitantes, importâncias intangíveis e altos níveis de incerteza (Mingers; Rosenhead, 2001; White, 2006). Dentre o escopo dos PSMs, destacam-se a abordagem SODA e SCA.

O SODA corresponde a uma abordagem que usa o mapeamento cognitivo como um dispositivo de modelagem para extrair e registrar as opiniões dos indivíduos sobre uma situação problemática (Mingers; Rosenhead, 2004). Segundo Georgiou (2012), a SODA extrai relações bipolares das opiniões do grupo de pessoas envolvidas na estruturação do problema sendo descritas na forma de mapas. Nestes mapas, as setas que conectam caudas e cabeças fornecem relações de causa e efeito. Além disso, a polaridade, representada pelos sinais matemáticos “+” e “-” indicam, respectivamente, se a relação entre os constructos é positiva ou negativa. Quando completos, esses mapas podem ser lidos independentemente das suas fontes e explorados qualitativamente pelo seu conteúdo escrito e quantitativamente, pois sua estrutura essencial é a de um grafo (nós e ligações).

Para exemplificar a aplicação da abordagem SODA, Aguayo *et al.* (2024) analisaram as diferentes perspectivas de alguns atores-chave do setor florestal brasileiro em relação às suas contribuições para os ODS, a partir de um mapeamento das principais contribuições, opções estratégicas e medidas potentes para melhorar a colaboração do setor nos ODS. Guarnieri *et al.* (2016) também aplicaram o SODA com representantes de fabricantes, distribuidores, importadores, varejistas, governo e consumidor final em busca

de desenvolver uma análise estratégica para o estabelecimento de redes de logística reversa para diversos resíduos, como o lixo eletrônico. Segundo os autores, a abordagem SODA permitiu a construção de quatro categorias de ações: estratégica, ambiental, econômica e social.

O SCA corresponde a uma abordagem de planejamento centrada no gerenciamento da incerteza em situações estratégicas. Os facilitadores ajudam os participantes a modelarem a interconectividade das áreas de decisão. A comparação interativa de esquemas de decisão alternativos ajuda-os a trazer à tona as principais incertezas (Mingers; Rosenhead, 2004). O processo de escolha estratégica do SCA apresenta um equilíbrio dinâmico entre quatro atividades da tomada de decisão: modelagem, desenho, comparação e escolha (Friend; Hickling, 2012). Na última etapa da abordagem SCA, ocorre a identificação de dúvidas ou discordâncias que afetem a comparação entre critérios e que possam ser expressas como incertezas. Exemplos: Incertezas relacionadas ao ambiente de trabalho (UE) gerenciada através dos retornos de natureza relativamente técnica como pesquisas, entrevistas e previsões; incertezas relacionadas aos valores (UV), investiga resposta na forma de algum tipo de consulta com os decisores políticos ou partes interessadas; e incertezas inter-relacionadas (UR), busca respostas na exploração dos vínculos estruturais entre a decisão corrente e outras com as quais se interligam (Friend; Hickling, 2005; Pereira, 2017).

A abordagem do SCA vem sendo aplicado em diversos contextos. De Sousa Pereira e Morais (2020) utilizaram o SCA como método de estruturação no sistema de distribuição de água no Nordeste brasileiro. Neste estudo, o SCA foi proposto como mecanismo para alinhar as perspectivas de gestão da manutenção com a rede do sistema, de modo a reduzir perdas e garantir maiores benefícios sociais, sendo possível estabelecer um plano estratégico referente as ações e práticas abrangentes para enriquecer o controle das áreas críticas de decisão e suas incertezas. Marttunen *et al.* (2017) analisaram as diferenças e combinações de métodos de estruturação de problema incluindo o SCA. Os autores identificaram que no SCA, um problema complexo é dividido em subproblemas sequenciais e, para cada um deles, áreas de decisão que resumem as principais questões abertas e opções potenciais são determinadas. Além disso, no SCA, incertezas de três tipos são exploradas sistematicamente: aquelas relacionadas ao ambiente de trabalho, valores orientadores e escolhas relacionadas. Em 2015, o SCA foi testado em um projeto público complexo arquitetônico em Turim (Itália) (Rolando, 2015).

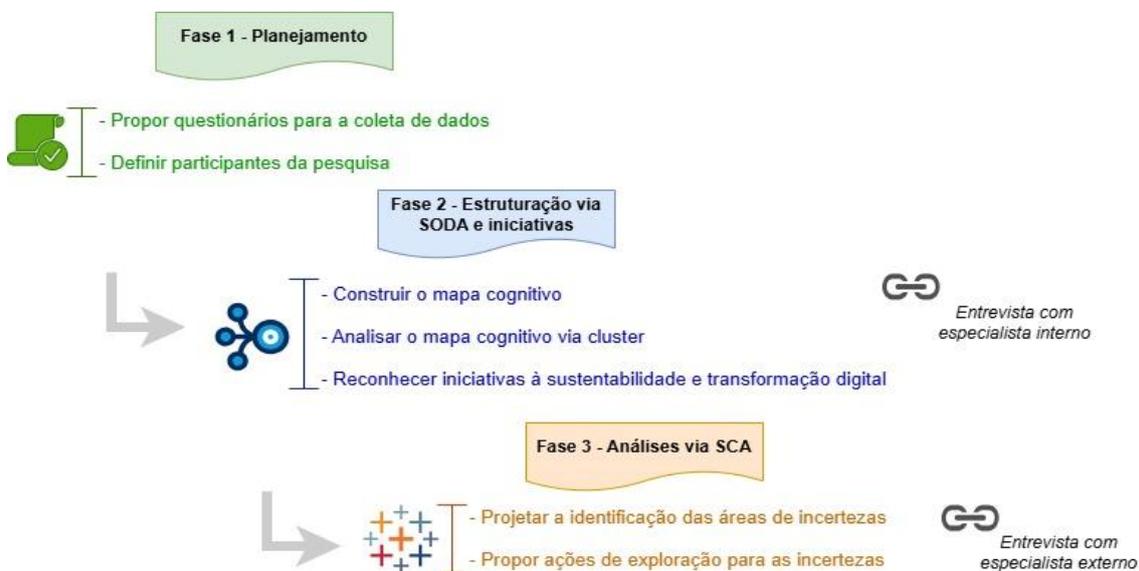
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso. O estudo de caso consiste numa estratégia de pesquisa que se concentra em compreender as dinâmicas presentes dentro de configurações individuais. Os estudos de caso geralmente combinam métodos de coleta de dados, como arquivos, entrevistas, questionários e observações (Eisenhardt, 1989). Ademais, quanto a abordagem, a presente pesquisa caracteriza-se como exploratório-descritivo, ou seja, o estudo exploratório tem por objetivo descrever completamente o fenômeno da mineração sustentável e descritivo em virtude à acumulação de informações detalhadas obtidas por intermédio da observação participante (Marconi; Lakatos, 2003). Este tipo de estudo é frequentemente utilizado em campos onde o conhecimento pré-existente é limitado ou onde há a necessidade de obter uma compreensão mais profunda de um fenômeno específico, cenário típico desta pesquisa. A combinação das metodologias SODA e SCA no ecossistema da mineração, visando a estruturação da problemática de transformação digital e sustentabilidade neste setor ainda

é pouco ou nada explorado no mundo acadêmico, fazendo-se necessário um estudo exploratório-descritivo.

Os fluxos metodológicos, configurando o framework de suporte a decisão, pode ser visualizado na Figura 1. O framework foi estabelecido em três fases. A fase 1 centra-se em planejar a pesquisa, desenvolvendo seus mecanismos de suporte para a coleta de dados, além da caracterização do objeto e participantes da pesquisa.

Figura 1. Fluxos do artifício de decisão



Fonte: Autores (2024).

A Fase 2 do framework (Figura 1) consiste na exploração das interrelações entre os fatores críticos à mineração sustentável. Então, recomenda-se desenvolver uma entrevista com um especialista interno à mineradora sob estudo. Os princípios metodológicos da abordagem SODA permitirá construir uma representação cognitiva. Softwares como o Mental Modeler (<https://dev.mentalmodeler.com/>) permite um suporte a criação dos mapas e determinação dos seus clusters (Gray *et al.*, 2013). Esta etapa finaliza com a identificação de iniciativas voltadas a sustentabilidade e transformação digital que o especialista julga como pertinente para o desenvolvimento na mineradora.

A Fase 3 do framework (Figura 1) consiste na análise das incertezas. Nesta fase propõe-se a modelagem do conhecimento de um especialista externo à mineradora sob estudo. Desta forma, diante de uma entrevista e pautando-se nos princípios do SCA, torna possível estabelecer ações exploratórias em prol da mitigação das incertezas à mineração sustentável.

3.1 Objeto de estudo

Os últimos 10 anos foram marcados por duas catástrofes de efeito ambiental, social e econômico envolvendo o setor da mineração. Esses eventos impactaram significativamente os estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Em 2015, ocorreu o rompimento da barragem do Fundão, em Mariana, da mineradora Samarco, o que ocasionou o extravasamento imediato de aproximadamente 40 milhões de metros cúbicos de rejeitos de minério de ferro e sílica, entre outros particulados. O acidente tirou a vida de 19 pessoas, soterrou grande parte do subdistrito de Bento Rodrigues, desalojou várias famílias e contaminou rios até desaguar no oceano Atlântico passando por vários municípios dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo (MPF, 2015).

Quatro anos após o acidente envolvendo a mineradora Samarco, em janeiro de 2019, ocorreu o rompimento da Barragem I (B-I), acarretando, em sequência, o rompimento das barragens B-IV e B-IV-A da mina Córrego do Feijão, de propriedade da Vale S.A., do Complexo Paraopeba II, localizada em Brumadinho, na Região Metropolitana de Belo Horizonte (Minas Gerais). O extravasamento levou o carreamento de aproximadamente 12 milhões de metros cúbicos de rejeitos, provocando a morte de 272 pessoas e danos sociais e ambientais em mais de 20 municípios da região (MG.GOV.BR, 2024).

Em 2021, Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) publicou um relatório sobre a reputação do setor da mineração no Brasil, pesquisa realizada pela RepTrak® DeepDive 2021. De acordo com tal estudo, “Reputação é o vínculo emocional criado com base na percepção coletiva que fazemos sobre a capacidade de uma empresa gerar valor para os diversos públicos”. O vínculo emocional avalia em que medida os públicos confiam, admiram, estimam e acreditam que a empresa tem uma boa reputação. Em 2021, o resultado do setor da mineração foi de 62,3, o que o classifica em favorabilidade mediana. Quando perguntados sobre o que precisa ser feito para merecer um voto de confiança, 33,5% responderam “Segurança Operacional/“Controle” de barragens”, 27,1% Reparação e apoio aos impactados e 20,8% Modelo de mineração sustentável (IBRAM, 2021).

Devido ao histórico recente e à necessidade de se fazer uma mineração sustentável, recuperando a confiança e a reputação da sociedade com também do mercado financeiro, o objeto de estudo desta pesquisa será uma mineradora presente nas regiões mais afetadas pelos acidentes, com sede em Belo Horizonte e unidades operacionais em Minas Gerais e no Espírito Santo. Seu principal produto são as pelotas de minério de ferro, matéria-prima para a produção de aço pela indústria siderúrgica.

Os dados, por sua vez, foram coletados a partir da realização de entrevista semiestruturada aplicada a um gestor especialista do Planejamento Integrado das Operações de tal mineradora. Assim, o roteiro de entrevista foi dividido em duas partes, fatores macro ambientais que impactam a empresa de acordo como acrônimo PESTEL (política, economia, sociedade, tecnologia, ambiente e legislação) elaborado por Khan (2023) e, em um segundo momento, considerou fatores de transformação digital voltado a sustentabilidade observados nas pesquisas bibliográficas.

3.1.1 Participantes da pesquisa

O framework requer a coleta de conhecimentos por parte dos especialistas. Em termos de especialista para a determinação dos fatores críticos à mineração sustentável considerou-se o gestor do setor de planejamento integrado das operações da mineradora. Este especialista (E_1) é formado em Engenharia Mecânica e conta com dezoito anos de experiência, sendo 13 na mineradora sob estudo e os demais na indústria siderúrgica. Na mineradora, ele atuou em outras áreas a destacar o setor comercial. A entrevista desenvolvida para coleta dos dados na Fase 2 do framework (Figura 1) durou aproximadamente 40 minutos, sendo realizada presencialmente.

Em relação a análise das incertezas, Fase 3 do framework (Figura 1) foi proposta a coleta de um especialista externo à mineradora sob estudo. Isto, em virtude de garantir isonomia e credibilidade à pesquisa, em virtude que as incertezas algumas vezes estão relacionadas diretamente a limitações da organização, seja em termos de estrutura ou de recursos. Portanto, a presente aplicação considerou um especialista formado em Engenharia de Produção, com experiência na área de manufatura e de serviços. A entrevista foi realizada em plataforma virtual e teve duração aproximada de 22 minutos.

4 RESULTADOS

4.1 Fase 1 – Planejamento

Na fase de planejamento, foi proposto um questionário para a coleta de dados. Esta etapa da pesquisa visa capturar a opinião e compreender a percepção de especialistas do setor da mineração em relação aos fatores impulsionadores e bloqueantes para uma mineração sustentável. Além disso, busca-se a identificação de iniciativas relacionadas a transformação digital e a sustentabilidade do setor.

Para iniciar esta compreensão, foi desenvolvido um roteiro de entrevista dividido em duas partes. A primeira parte é marcada por perguntas que visam mapear os fatores críticos que impactam a empresa na jornada em busca de uma mineração sustentável. Tais perguntas foram fundamentadas seguindo o acrônimo da análise PESTEL (Política, Economia, Sociedade, Tecnologia, Meio Ambiente e Legislação), uma ferramenta analítica utilizada para o planejamento estratégico, na qual se analisa fatores macro ambientais de um negócio (Khan, 2023).

Algumas das perguntas realizadas foram: (Política) “A instabilidade política e as diferenças entre os governos estaduais afetam as estratégias de sustentabilidade? Como?”; (Economia) “Como as iniciativas de sustentabilidade impactam os custos operacionais e a rentabilidade da mineração? Existem obstáculos financeiros para adoção de práticas sustentáveis? As pressões de curto prazo afetam as decisões relacionadas à sustentabilidade?”; (Social) “A cultura organizacional da empresa influencia a adoção de práticas sustentáveis? Positiva ou negativamente? Existe resistência interna à implementação de práticas sustentáveis? Os stakeholders (acionistas, fornecedores, comunidade, funcionários etc.) demandam ou exigem práticas sustentáveis na empresa?”; (Tecnologia) “As inovações tecnológicas estão sendo exploradas ou implementadas para tornar a mineração mais sustentável? A transformação digital é vista como um processo que garante a sustentabilidade da mineração? Quais são os principais desafios tecnológicos e de infraestrutura que dificultam a transição para a mineração sustentável?”; (Meio Ambiente) “As regulamentações e a conformidade com normas ambientais são vistas como fatores que impulsionam a implementação de práticas sustentáveis?” (Legislação) “As incertezas regulatórias e leis trabalhistas e de proteção do consumidor podem afetar as estratégias de sustentabilidade?”.

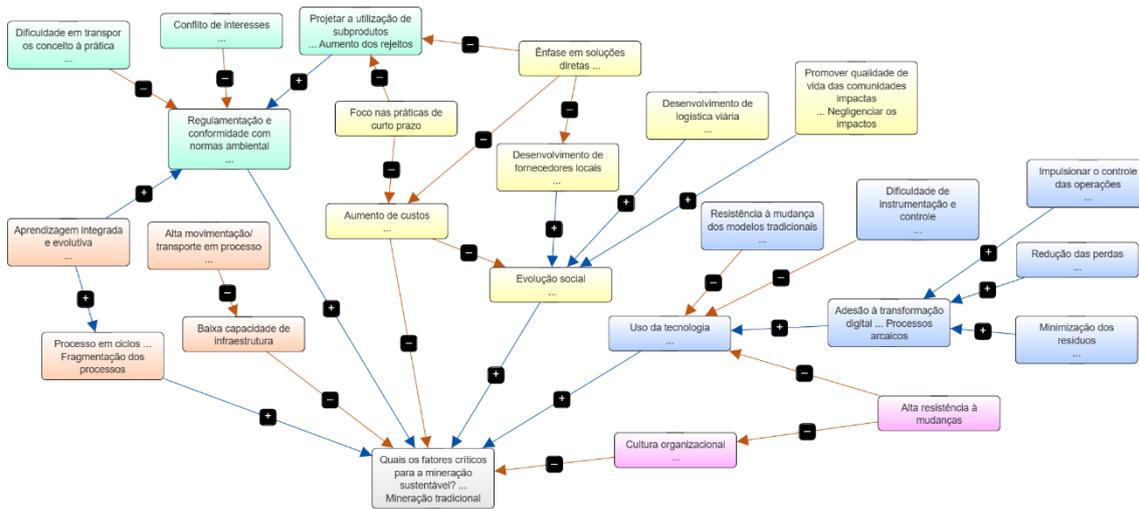
A segunda parte das entrevistas está orientada ao levantamento de iniciativas de transformação digital e sustentabilidade, fomentada por exemplos identificados na pesquisa bibliográfica. As perguntas realizadas são: (i) Segundo Vial (2021), Transformação digital representa um processo que visa melhorar uma entidade, desencadeando mudanças significativas em suas propriedades por meio de combinações de tecnologias de informação, computação, comunicação e conectividade. Baseado neste conceito, quais as iniciativas relacionadas a transformação digital existem ou deveriam existir na organização? e (ii) Segundo Mudd (2010), “mineração sustentável” consiste na disponibilidade contínua de recursos, um ambiente produtivo e uma comunidade saudável nos locais de mineração atuais e antigos. Baseado neste conceito, quais as iniciativas relacionadas a sustentabilidade existem ou deveriam existir na organização para garantir tal “mineração sustentável”?

4.2 Fase 2 – Estruturação via SODA e iniciativas

A partir da fundamentação teórica apresentada na seção 2, é possível constatar a relevância quanto as temáticas da transformação digital e sustentabilidade para o setor da mineração, tanto em termos teóricos quanto práticos. Neste contexto, e após a realização

da primeira parte da entrevista, foi possível a construção do mapa cognitivo da figura 2, no qual os critérios que impulsionam e bloqueiam o processo para uma mineração sustentável foram organizados em cinco *clusters*.

Figura 2. Mapa cognitivo



Fonte: Autores (2024).

O *cluster* laranja, explicita os fatores relacionados aos processos e infraestrutura, marcado principalmente por uma das maiores dores do setor da mineração, a “alta movimentação” seja de carga de produto por caminhões, ou mesmo dos trabalhadores via ônibus, mostrando a fragilidade com a baixa capacidade de infraestrutura. Este fator bloqueia fortemente a busca pela sustentabilidade, pois impacta no dia a dia das pessoas que vivem nas comunidades ao redor. E não se trata somente do produto fruto das atividades da mineração (minério de ferro), mas principalmente do transporte de insumos, equipamentos e pessoas.

O *cluster* verde reflete questões ambientais. A regulamentação e a conformidade com as normas ambientais impulsionam à mineração sustentável, principalmente quando se consegue dar um destino para os subprodutos como os rejeitos, minimizando o uso de barragens e afins. Entretanto, a dificuldade em transpor conceitos em prática e o conflito de interesses podem dificultar a aderência às boas práticas ambientais.

O *cluster* amarelo está relacionado a soluções práticas e custos. Quanto mais se tem foco em práticas e custos de curto prazo, maior é a pressão sobre os resultados e menor a tendência à visão sustentável, que deve ser holística e integrada. Neste *cluster*, os fatores críticos que impulsionam a sustentabilidade são as soluções práticas para promover a qualidade de vida das comunidades, o desenvolvimento da logística viária, assim como dos fornecedores locais, garantindo a evolução social para todas as comunidades que deixam de ser consideradas ao redor das mineradoras para serem anfitriãs das mineradoras.

O *cluster* azul, o qual aborda critérios de tecnologia, evidencia a aproximação da mineração sustentável mediante o uso das inovações. A adesão à transformação sustentável e o abandono de práticas arcaicas permitem a redução de perdas, o controle e a estabilidade operacional e a minimização de resíduos. Entretanto, foi mencionado barreiras que devem ser trabalhadas, como a dificuldade com a modernização da instrumentação e a resistência às mudanças. E, o último *cluster*, o grafado na rosa, refere-se à cultura organizacional. Quando não há engajamento, liderança forte e um programa de cultura organizacional estabelecido que visam a sustentabilidade do negócio, a

resistência se fortalece e dificulta a visão de longo prazo, sendo fortes critérios que bloqueiam a mineração sustentável.

Na segunda parte da entrevista, foram identificadas as principais iniciativas relacionadas a transformação digital que podem ser úteis à mineradora sob estudo. Os resultados estão apresentados, conforme Quadro 1 relacionado à transformação digital e o Quadro 2 referentes as iniciativas para a sustentabilidade.

Quadro 1. Iniciativas relacionadas a transformação digital

#	Iniciativa à transformação digital
1	<i>Big data Analytics</i>
2	Centro de Operações Remotas
3	Mídias sociais
4	Internet das coisas (IoT)
5	Dispositivos digitais
6	Visualização 3D
7	<i>Machine learning</i>
8	Veículos autônomos
9	Drones
10	Dashboards

Fonte: Autores (2024)

Quadro 2. Iniciativas relacionadas a sustentabilidade

#	Iniciativas à sustentabilidade
1	Economia Circular
2	Descarbonização
3	Redução do consumo de água doce
4	Aumento da eficiência energética
5	Redução de geração de resíduos sólidos
8	Redução de emissão atmosférica
9	Minimizar ou eliminar o impacto das barragens de rejeitos
10	Política de Direitos Humanos
11	Desenvolvimento das comunidades locais

Fonte: Autores (2024).

A lista de iniciativas relacionadas à transformação digital, em sintonia com Matt et al., (2015), trouxe a *big data analytics* na primeira posição. *Machine learning*, drones e veículos autônomos também apareceram na lista tal qual citado por Zhironkin e Taran (2023) quando estudada a mineração de superfície 4.0. Ainda que não tenha sido mencionado no referencial teórico, o centro de operações remotas apareceu na segunda posição da lista, o que pode ser uma nova tendência que centraliza a remotização, o controle e o monitoramento de várias operações de uma mina.

Onze iniciativas relacionadas a sustentabilidade foram mapeadas, sendo uma delas a descarbonização. Issatayeva *et al.* (2023) abordaram assuntos relacionados a descarbonização potencializado pela transformação digital. As iniciativas de sustentabilidade vão de encontro a reduzir o impacto das barreiras mapeadas no SODA, por exemplo a economia circular reduz o impacto dos resíduos, o desenvolvimento das comunidades locais promove a qualidade de vida e a evolução social e a minimização ou eliminação do impacto das barragens de rejeitos pode estar vinculada a maior utilização de subprodutos.

4.3 Fase 3 – Análises via SCA

Diante dos resultados apresentados, e mediante a elicitação dos conhecimentos do especialista externo, foi estabelecida a análise das incertezas baseando-se nos princípios do SCA. Desta forma, considere o Quadro 3, pela qual postula-se a área da incerteza, bem como ações de exploração que podem ser úteis à sua minimização ou mesmo mitigação.

Quadro 3. Análise das incertezas

Área da incerteza	Ação de exploração	Projeção de ação
Resistência à mudança dos modelos tradicionais (UV)	Realizar workshops e treinamentos sobre os benefícios da transformação digital	Implementar programas contínuos de capacitação, destacando casos de sucesso
Uso da tecnologia (UR)	Investigar as melhores práticas de implementação de tecnologias emergentes	Adotar inovações, treinando continuamente todos os envolvidos
Dificuldade de instrumentação e controle (UE)	Realizar auditorias e avaliações técnicas dos sistemas de controle atuais	Implementar upgrades tecnológicos e treinamentos para melhorar a instrumentação e controle
Conflito de interesses (UV)	Conduzir consultas com partes interessadas e decisores políticos	Desenvolver políticas e práticas que balanceiem os interesses conflitantes e promovam a colaboração
Promover qualidade de vida das comunidades impactadas (UV)	Realizar consultas públicas e entrevistas com líderes comunitários	Implementar projetos de desenvolvimento comunitário que atendam às necessidades locais

Fonte: Autores (2024).

De acordo com o Quadro 3 é possível obter direcionamentos em prol da condução de planejamento para a mineração sustentável com menores resistências, em virtude das incertezas. De modo prático, cabe a organização estabelecer quais as ações prioritárias em virtude dos seus interesses e limitações quanto à capacidade.

5 CONCLUSÕES

O artigo alcançou seu objetivo de construir um artefato integrado para fomento das iniciativas de sustentabilidade e transformação digital no ambiente das atividades de uma mineradora. A presente pesquisa alcançou uma compreensão integrada dos fatores críticos de sucesso para a mineração sustentável. Dentre os principais fatores impulsionadores à mineração sustentável estão a regulamentação e a conformidade com as normas ambientais, a promoção da qualidade de vida das comunidades anfitriãs, o desenvolvimento da logística viária, o desenvolvimento dos fornecedores locais, a evolução social da região em que a mineradora está incluída e no cerne deste estudo o uso de tecnologia e a transformação digital.

A alta movimentação de cargas e de trabalhadores nas vias rodoviárias onde a mineradora está inserida é uma das principais barreiras mapeadas. Além desta, a dificuldade em transpor os conceitos à prática e os conflitos de interesses ambientais, o foco nas práticas e nos custos de curto prazo, a existência de instrumentação e processos arcaicos, a resistência à mudança e a falta de cultura organizacional voltada para a mineração sustentável são fatores críticos que bloqueiam e dificultam o alcance da sustentabilidade do setor da mineração. Além do mapa cognitivo constituído pelos fatores críticos que impulsionam e bloqueiam a jornada em busca da mineração sustentável citados anteriormente, também foram mapeadas principais iniciativas relacionadas a transformação digital, sendo elas: *Big data Analytics*, Centro de Operações Remotas, Mídias sociais, IoT, Dispositivos digitais, entre outras. Além desta lista, também foram

mapeadas as iniciativas relacionadas a sustentabilidade, onde foram listadas: Economia Circular, Descarbonização, Redução do consumo de água doce, Aumento da eficiência energética e Redução de geração de resíduos sólidos.

Finalmente foi estabelecida a análise de incerteza, na qual foram mapeadas ações de exploração e propostas ações de bloqueio em prol da condução do planejamento para a mineração sustentável com menores resistências, em virtude das incertezas. O artefato proposto pode ser visto como um mecanismo analítico de decisão, e por sua flexibilidade pode ser útil a outras mineradoras com objetivos à mineração sustentável. O uso conjunto do SODA e SCA permitiu a conclusão satisfatória do artefato. A principal limitação do estudo é realização de uma única entrevista em uma mineradora, fato que pode ser melhorado ampliando o número de entrevista e de mineradoras. Uma oportunidade de avanço da pesquisa é complementá-la com um método de tomada de decisão, como por exemplo o *Fuzzy-TOPSIS* para o ranqueamento das iniciativas de transformação digital e sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

AGUAYO L. S. R. *et al.* Brazilian Forest-Based Sector Perceptions and Contributions to the Sustainable Development Goals (SDGs) - Developing Strategies Using the Strategic Options Development and Analysis (SODA) Approach. **Forests**, v. 15, n. 1, p. 198, 2024.

ANGOTII, M.; FERREIRA, A.C.S.; EUGÊNIO, T.; BRANCO, M.; QUEIROZ, J.M. A sustainability assessment modeling-based external account of the impacts of mining activities in Brazil. **Sustainability Accounting, Management and Policy Journal**, v. ahead-of-print, n. ahead-of-print, 2024. <https://doi-org.ez27.periodicos.capes.gov.br/10.1108/SAMPJ-05-2023-0297>

AZAPAGIC, A. Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry. **Journal of cleaner production**, v. 12, n. 6, p. 639-662, 2004.

BLINOVA, E.; PONOMARENKO, T.; KNYSH, V. Analyzing the concept of corporate sustainability in the context of sustainable business development in the mining sector with elements of circular economy. **Sustainability**, v. 14, n. 13, 8163, 2022.

BOTELHO, M. R. *et al.* Rompimento das barragens de Fundão e da Mina do Córrego do Feijão em Minas Gerais, Brasil: decisões organizacionais não tomadas e lições não aprendidas. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 46, p. e16, 2021.

CHEN, Y. **Multiple criteria decision analysis: classification problems and solutions**. 2006.

DE SOUSA PEREIRA, L.; COSTA, D.M. The strategic choice approach to the maintenance management of a water distribution system. **Urban Water Journal**, v. 17, n. 1, p. 23-31, 2020.

DEMIRKAN, H.; SPOHRER, J.C.; WELSER, J.J. Digital innovation and strategic transformation. **It Professional**, v. 18, n. 6, p. 14-18, 2016.

EISENHARDT, K.M. Building theories from case study research. **Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.

FRIEND, J. New directions in software for strategic choice. **European Journal of Operational Research**, v. 61, n. 1-2, p. 154-164, 1992.

FRIEND, J.; HICKLING, A. **Planning under pressure: the Strategic Choice Approach**, 3.ed. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2005.

FRIEND, J.; HICKLING, A. **Planning under pressure**. Routledge, 2012.

GANDHI, P.K.S.; RAMASWAMY, S. **Which industries are the most digital (and why?)**. Harv Bus Rev 1., 2016.

GEORGIU, I. Messing about in transformations: Structured systemic planning for systemic solutions to systemic problems. **European Journal of Operational Research**, v. 223, n. 2, p. 392-406, 2012.

GMI - **The Global Mining Initiative** – Disponível em: <<https://resolve.ngo/docs/global-mining-initiative.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2024.

GRAY, S.; COX, L.; HENLY-SHEPARD, S. Mental modeler: A fuzzy-logic cognitive mapping modeling tool for adaptive environmental management. In **Proceedings of the 46th International Conference on Complex Systems**, Wailea, HI, USA, 7–10 January 2013; pp. 963-973, 2013.

GUARNIERI, P.; SILVA, L.C.; LEVINO, N.A. Analysis of electronic waste reverse logistics decisions using Strategic Options Development Analysis methodology: A Brazilian case. **Journal of Cleaner Production**, v. 133, p. 1105-1117, 2016.

IBRAM. **Reputação do Setor de Mineração no Brasil**, 2021. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/07/IBRAM_RepTrak2021-Reputacao-Sector-Mineral-05julho2021-AC-Minas.pdf> Acesso em 10 jul. 2024.

ISSATAYEVA, F.M. *et al.* Fuel and energy complex of Kazakhstan: Geological and economic assessment of enterprises in the context of digital transformation. **Energies**, v. 16, n. 16, p. 6002, 2023.

JUNIOR, F.R.L.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L. C. R. A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. **Applied soft computing**, v. 21, p. 194-209, 2014.

KHAN, U.U. *et al.* Macro-environmental factors and their impact on startups from the perspective of developing countries. **International Journal of Sustainable Engineering**, v. 16, n. 1, p. 166-183, 2023.

KILPIN, D.V. *et al.* A Critical Review into the Digital Transformation of Land Title Management: The Case of Mining in Zimbabwe. In: **Cybersecurity in the Age of Smart Societies: Proceedings of the 14th International Conference on Global Security, Safety and Sustainability**, London, September 2022. Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 31-46.

IIED - **Breaking New Ground: Mining, Minerals and Sustainable Development**. Disponível em: <<https://www.iied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/9084IIED.pdf>>. Acesso em 28 mar. 2024.

LAZARENKO, Y. *et al.* Digital transformation in the mining sector: Exploring global technology trends and managerial issues. In: **E3S Web of Conferences**. EDP Sciences, p. 04006, 2021.

LEÃO, R.; RABELO, R. A extensão da cadeia produtiva da economia mineral no PIB brasileiro. **Sumário Executivo - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/td2950-port>. 2023

- MARCONI M.A.; LAKATOS E.M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5ª ed. São Paulo. Editora ATLAS S.A., 2003.
- MARTTUNEN, M.; LIENERT, J.; BELTON, V. Structuring problems for Multi-Criteria Decision Analysis in practice: A literature review of method combinations. **European journal of operational research**, v. 263, n. 1, p. 1-17, 2017.
- MATT, C.; HESS, T.; BENLIAN, A. Digital transformation strategies. **Business & information systems engineering**, v. 57, p. 339-343, 2015.
- MERMA, Y.P.C. Mining 4.0: A Digital Transformation Approach to Mining Sector: A Peruvian Case Study. **In: 2023 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)**. IEEE, 2023. p. 1-4.
- MG.GOV.BR - Histórico do rompimento das barragens da Vale na Mina Córrego do Feijão, 2024. Disponível em <<https://www.mg.gov.br/pro-brumadinho/pagina/historico-do-rompimento-das-barragens-da-vale-na-mina-corrego-do-feijao>> Acesso em: 10 jul.2024.
- MINGERS, J.; ROSENHEAD, J. Problem structuring methods in action. **European journal of operational research**, v. 152, n. 3, p. 530-554, 2004.
- MINGERS, J.; ROSENHEAD, J. Rational analysis for a problematic world revisited. John Wiley and Sons Ltd, 2001.
- MITCHELL, P. Top 10 business risks and opportunities for mining and metals in 2022. **EY. Oct**, v. 7, 2021.
- MPF - MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL, 2015. Disponível em: <<https://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/o-desastre>> Acesso em: 10 jul. 2024.
- MONTEIRO, N.B.R; DA SILVA, E.A.; NETO, J.M.M. Sustainable development goals in mining. **Journal of Cleaner Production**, v. 228, p. 509-520, 2019.
- MORAKANYANE, R.; GRACE, A.A.; O'REILLY, P. Conceptualizing digital transformation in business organizations: A systematic review of literature. **In: BLED 2017 Proceedings**. 21. 2017.
- NOVANI, S. *et al.* Empowering digital creative ecosystem using problem structuring method and a service science perspective: A case study in Cimahi and Bandung, Indonesia. **Asia Pacific Management Review**, v. 28, n. 2, p. 215-228, 2023.
- NWANKPA, J. K.; ROUMANI, Y. IT capability and digital transformation: A firm performance perspective. **In: Thirty Seventh International Conference on Information Systems**, Dublin, 2016.
- ONU-Brasil. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em 28 mar. 2024.
- PEREIRA, L. S. **Abordagem multicritério para estabelecimento de prioridades gerenciais/comerciais para manutenção em sistemas de abastecimento com captação de água subterrânea**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Pernambuco.

PMB. **Panorama Mineração no Brasil**. Disponível em: <<https://publicbrasil.com.br/pdf/PanoramaMineracao/PMB2023.pdf>>. Acesso em 03 jan. 2024.

RMF (Responsible Mining Foundation) – **MINERAÇÃO e os ODS - uma atualização do estado das coisas em 2020** – Disponível em <[RMF_CCSI_Mining_and_SDGs_PT_Sept2020.pdf](#)>. Acesso em 10 jul. 2024.

ROLANDO, D. Multicriteria decision problem structuring: The strategic choice approach in the context of public projects in Italy. **International journal of multicriteria decision making**, v. 5, n. 1-2, p. 4-38, 2015.

SAATY, T.L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990.

SHEARER, E.; MITCHELL, A. **News use across social media platforms in 2020**. 2021. Disponível em: <https://www.pewresearch.org/journalism/2021/01/12/news-use-across-social-media-platforms-in-2020/>

SILVA, J. F. *et al.* Decision making in the process of choosing and deploying industry 4.0 technologies. **Gestão & Produção**, v. 29, p. e163, 2022.

STOREY, K. From FIFO to LILO: The place effects of digitalization in the mining sector. **The Extractive Industries and Society**, v. 13, p. 101206, 2023.

UNDP - **Atlas: mapeando os objetivos de desenvolvimento sustentável na mineração**, 2017. Disponível em: <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/publications/Mining%20Atlas%20Vers%C3%A3o%20Final_Lan%C3%A7amento_Portuguese.pdf>. Acesso em 10 jul. 2024.

VAN HAU, N. *et al.* Digital Transformation in Mining Sector in Vietnam. **Inżynieria Mineralna**, n. 2, 2022.

VIAL, G. Understanding digital transformation: A review and a research agenda. Managing Digital Transformation, **The Journal of Strategic Information Systems**, v. 28, n. 2, p. 118-144, 2021.

VILLAS-BÔAS, H.C. **A Indústria Extrativa Mineral e a Transição para a Sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM / MCT / CNPq, 2011..

WHITE, L. Evaluating problem-structuring methods: Developing an approach to show the value and effectiveness of PSMs. **Journal of the Operational Research Society**, v. 57, p. 842-855, 2006.

WWF, **Relatório executivo planeta vivo 2014**. Disponível em: <https://wwfbrnew.awsassets.panda.org/downloads/sumario_executivo_planeta_vivo_2014.pdf>. Acesso em 10 jul. 2024.

ZHIRONKIN, S.; TARAN, E. Development of Surface Mining 4.0 in Terms of Technological Shock in Energy Transition: A Review. **Energies**, v. 16, n. 9, p. 3639, 2023.