



Campus São Mateus
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO



ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA A APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP COMO FERRAMENTA DE DECISÃO EM PROJETOS DE MINERAÇÃO

METHODOLOGICAL APPROACH FOR THE APPLICATION OF THE AHP METHOD AS A DECISION TOOL IN MINING PROJECTS

ENFOQUE METODOLÓGICO PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO AHP COMO HERRAMIENTA DE TOMA DE DECISIONES EN PROYECTOS MINEROS

Fabiano Della Libera da Silva^{1*}, **Lucas de Backer Lopes Decoté dos Santos**², & **Nadia Ribeiro Ricardo**³

¹²³ Instituto Federal do Espírito Santo

¹ fabianodella@gmail.com ² lucasdecothe@gmail.com ³ ribeioricardonadia@gmail.com

ARTIGO INFO.

Recebido: 11.01.2025

Aprovado: 24.02.2025

Disponibilizado: 18.03.2025

PALAVRAS-CHAVE: Analytic Hierarchy Process (AHP); Métodos de Apoio à Decisão (AMD); Methodi Ordinatio; Mineração.

KEYWORDS: Analytic Hierarchy Process (AHP); Decision Support Methods (AMD); Methodi Ordinatio; Mining.

PALABRAS CLAVE: Proceso Analítico Jerárquico (PAJ); Métodos de apoyo a la toma de decisiones (DMS); Métodos ordinarios; Minería.

*Autor Correspondente: Silva, F. D. L. da.

RESUMO

A mineração é uma área tecnológica que ainda carece de estudos científicos e possui alto potencial de avanços a serem conquistados, visto que é um setor da economia com bastante importância para o país. Há alguns anos, a ocorrência de maior oscilação nos preços nas commodities que incluem os produtos minerais advindos dos processos de mineração estimula a uma maior competitividade dos processos, através de aplicações de métodos científicos que possam apoiar as decisões dos gestores e técnicos deste segmento econômico. Este trabalho traz como ferramenta metodológica a bibliometria que visa a explorar a literatura em busca de trabalhos que utilizam Métodos Multicriteriais de Apoio à Decisão, em específico o Analytic Hierarchy Process (AHP), como ferramenta de decisão em projetos voltados para a área de mineração. A sequência de etapas realizadas utilizando-se a Methodi Ordinatio resultou em dez artigos de maior relevância para análises e leituras sistemáticas.

ABSTRACT

Mining is a technological area that still lacks scientific studies and has a high potential for advances to be achieved, as it is a sector of the economy with considerable importance for the country. A few years ago, the occurrence of greater fluctuations in the prices of commodities that include mineral products arising from mining processes stimulated greater competitiveness in the processes, through the application of scientific methods that can support the decisions of managers and technicians in this economic segment. This work brings bibliometrics as a methodological tool, which aims to explore literature in search of works that use Multicriteria Decision Support Methods, specifically the Analytic Hierarchy Process (AHP), as a decision tool in projects aimed at the mining area. The sequence of steps performed using the Methodi Ordinatio resulted in ten articles of greater relevance for systematic analysis and reading.

RESUMEN

La minería es un área tecnológica que aún carece de estudios científicos y tiene un alto potencial de avances por lograr, ya que es un sector de la economía muy importante para el país. En los últimos años, la ocurrencia de mayores fluctuaciones en los precios de los productos básicos, incluidos los productos minerales provenientes de los procesos mineros, ha incentivado una mayor competitividad en los procesos, mediante la aplicación de métodos científicos que puedan sustentar las decisiones de los gestores y técnicos de este segmento económico. Este trabajo utiliza la bibliometría como herramienta metodológica, el cual tiene como objetivo explorar la literatura en búsqueda de trabajos que utilicen Métodos de Apoyo a la Decisión Multicriterio, específicamente el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), como herramienta de decisión en proyectos dirigidos al área minera. La secuencia de pasos realizada utilizando el Methodi Ordinatio dio como resultado diez artículos de mayor relevancia para el análisis y lectura sistemática.

INTRODUÇÃO

É de fundamental importância que as empresas produtoras e manuseadoras de minérios (mineradoras) pratiquem o monitoramento e controle de riscos a fim de minimizarem as incertezas dos seus negócios, uma vez que as tomadas de decisão na área de mineração quase sempre lidam com cenários vastos e incertos que usualmente necessitam de soluções que podem ser conseguidas utilizando-se Métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) com o objetivo de encontrar uma melhor alternativa para cada processo de tomada de decisão. Nesse contexto, justifica-se o emprego do *Analytic Hierarchy Process* (AHP) como método de tomada de decisão para que os riscos e as incertezas sejam eliminados ou mitigados.

Essa metodologia é utilizada de forma massiva em diversas áreas de conhecimento e possibilita que, de forma conjunta, dados quantitativos e qualitativos sejam estudados em uma mesma análise possibilitando, através de modelagem matemática, a avaliação da capacidade de qualquer agente decisor para realizar julgamentos e escolhas, sem que ocorram divergências (Sena, 2007).

A *Methodi Ordinatio* foi escolhida neste trabalho como procedimento metodológico de busca, análise, quantificação, qualificação e escolha dos trabalhos mais relevantes que utilizam o método AHP como método de análise de decisão para projetos voltados para a mineração através de uma revisão sistemática da literatura. A escolha dessa metodologia se deu em função da grande quantidade de pesquisadores e instituições acadêmicas que se utilizam dela por ser uma metodologia que designa e fomenta de forma sistemática a criação do que é denominado de “estado da arte” para um portfólio bibliográfico.

Este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de uma bibliometria que irá selecionar os trabalhos científicos mais relevantes que utilizam o AHP como método de tomada de decisão em projetos ligados à mineração.

REFERENCIAL TEÓRICO

Instrumentalizou-se a bibliometria a partir da utilização da *Methodi Ordinatio* e do método AHP como dimensões norteadoras deste trabalho.

METHODI ORDINATIO

A *Methodi Ordinatio* é uma metodologia de revisão sistemática composta por nove estágios (ou etapas) que viabilizam a ordenação de artigos por meio da sua relevância, que é creditada pela quantidade de citações, o fator de impacto e o ano de publicação (Pereira et al., 2021).

Na Etapa 1 é efetuada a definição da intenção da pesquisa e é também o momento do estabelecimento do tema e o título. A intenção de pesquisa é a fase ideal para realizar a descrição e justificativa do tema, incluindo a definição da área de interesse que o pesquisador irá desenvolver seu trabalho de pesquisa. É também nessa etapa que o pesquisador tem a oportunidade de situar o contexto de interesse e mostrar a sua capacidade e conhecimento para identificar um problema a ser investigado e de indicar soluções prováveis se apoiando em argumentos técnicos e, obviamente, científicos (Pagani, 2018).

De acordo com a mesma autora, na Etapa 2 é realizada a pesquisa preliminar exploratória das combinações de palavras-chave previamente encontradas. Na etapa seguinte, a Etapa 3, é efetuada a definição de palavras-chave e combinações com um nível de refinamento ainda maior, considerado ideal para uma nova busca. A busca definitiva nas bases de dados escolhidas é realizada na Etapa 4. Na Etapa 5 são efetuados procedimentos de filtragem em que são eliminados os trabalhos duplicados, trabalhos cujos títulos, *abstract* e palavras-chave que não têm relação direta com o tema pesquisado, trabalhos publicados oriundos de conferências e capítulos de livros, dentre outros.

A autora comenta que, na Etapa 6, onde é identificado o Fator de Impacto (FI) e as Citações referentes aos trabalhos pesquisados. Além dos fatores de impacto, também se identifica informações como o ano de publicação e o número de citações. É na Etapa 7 que é efetuada a ordenação de forma a mensurar a relevância dos trabalhos buscados nas bases. Os trabalhos com maiores *Index Ordinatio (InOrdinatio)* são ordenados de forma decrescente e, uma vez que os artigos que possuem maior valor desse índice, são os artigos considerados de maior relevância. O *InOrdinatio* é obtido a partir da Equação 1:

$$InOrdinatio = \left(\frac{Fi}{1000} \right) + (\alpha \times [10 - (AnoPesq - AnoPub)]) + \sum Ci \text{ (Equação 1)}$$

Onde, Fi é o Fator Impacto obtido através da pesquisa do periódico ou instituição na base JCR (Journal Citation Reports); O α é um valor que varia de 1 a 10 que é atribuído pelo pesquisador. Um maior valor de α concede um maior peso para trabalhos mais recentes.

Na Etapa 8 os arquivos finais obtidos nas etapas anteriores da *Methodi Ordinatio* são baixados em seu formato integral. É possível que a aquisição desses trabalhos já tenha ocorrido em etapas anteriores. Finalmente, na nona e última etapa, é efetuada a leitura sistemática e análise dos trabalhos selecionados.

O Fator de Impacto (FI), do inglês *Impact Factor (IF)*, utilizado na equação em que se obtém o *InOrdinatio*, foi criado por Eugene Garfield, em 1955, e é o elemento que determina a frequência, em média, na qual um artigo, nele disseminado, foi citado e é um dos elementos do JCR, que fornece um meio quantitativo para categorizar, avaliar, classificar e fazer comparações em periódicos científicos. Esse indicador pode ser obtido matematicamente a partir do coeficiente entre o número de citações realizadas no ano atual, referente aos trabalhos publicados nos últimos dois anos, e a quantidade total de publicações nos dois anos anteriores (Clarivate Analytics, 2018).

De acordo com De Bellis (2009), o Fator de Impacto vem sendo utilizado em larga escala como auxílio à tomada de decisão na comunidade científica. Os principais motivos para o avanço na utilização dessa métrica no Brasil se devem, principalmente, à priorização dos programas de Pós-graduação em utilizar trabalhos com alto FI devido à crescente exigência do sistema “Qualis” da CAPES, aos financiamentos de revistas acadêmicas pelo CNPq, à exigência de padronização e qualidade nas bases de dados da SciELO e à Associação Brasileira dos Editores Científicos (ABEC) que qualifica os Editores no país (Domingues, 2020).

Segundo Davis et al. embora o prestígio dos periódicos seja amplamente determinado utilizando-se o Fator de Impacto como base, visto que possui ampla aceitação acadêmica, uma desvantagem dessa métrica é que ela supervaloriza o grande número de leitores de periódicos de grande alcance e subestima assuntos mais especializados. Mesmo o fato de um periódico ser de alta qualidade e com grande volume de leitores e, conseqüentemente, possuir méritos ao apresentar um alto fator de impacto, outros trabalhos de menores volumes, porém de alta qualidade, podem ser desconsiderados

ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)

Os Métodos Multicritério de Apoio à Decisão (AMD) são métodos dispostos a resolver um problema, a partir dos quais as alternativas são avaliadas por múltiplos critérios, dos quais geram atritos, na maioria dos casos (Almeida & Costa, 2003). Sendo assim, a decisão é a alternativa para a solução de problemas de objetivos conflitantes, que possam exigir uma solução ótima de modo a conduzir ao que pode ser chamada de solução de compromisso (Zeleny, 1982).

O AHP é considerado um método ou uma ferramenta de Análise Multicriterial de Decisão (AMD) criada pelo matemático e professor estadunidense, Tomas L. Saaty, nos anos 70's para auxiliar pesquisadores para a tomada de decisões mais complexas e que envolviam várias variáveis de decisão. Além da determinação de qual escolha a ser feita, o método cria um ferramental lógico baseado em Matemática e Psicologia utilizada tanto para determinar qual a escolha a ser feita como também na justificativa lógico-matemática envolvida nessa escolha. O método trata a complexidade dos problemas com a divisão do mesmo em fatores, que ainda podem ser subdivididos em novos fatores de modo que seja exaurido o menor nível possível. O AHP é reportado na literatura como o método mais conhecido e utilizado no campo de atuação da AMD.

De acordo com Costa (2002) essa metodologia se baseia em três fatores: construção da hierarquia, definição de prioridades e consistência lógica. De modo a permitir a compreensão, avaliação dos problemas, eles são desdobrados em diferentes níveis hierárquicos, mantendo este padrão para as alternativas e os critérios (Bornia & Wernke, 2001). Com relação à definição de prioridades, de acordo com Costa (2002), as mesmas deverão ser definidas através de comparações entre pares (par a par), levando-se em conta o critério que foi pré-estabelecido. Segundo Vieira (2006), a consistência lógica no método se mostra eficiente quando é levado em conta a submissão desse com os parâmetros analisados.

PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Nesta seção é mostrado o detalhamento de cada etapa realizada utilizando-se a *Methodi Ordinatio* aplicado neste trabalho, bem como os resultados alcançados em cada uma de suas fases.

Na Etapa 1, foram definidos o tema e o título:

Tema - Aplicação do Método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para Apoio Multicritério à Decisão (AMD)

Título - Utilização do Método AHP como ferramenta de decisão para escolha de projetos na área de Mineração

Determinada a intenção de pesquisa, realizou-se a determinação dos Eixos de Pesquisa e a combinação das palavras-chave a partir de caracteres booleanos, obtendo-se as combinações:

- “Analytic Hierarchy Process” AND “AHP”;
- “Multicriteria decision analysis” AND “Decis* Mak*”;
- “Mining Project” AND “Analytic Hierarchy Process”; e
- “AHP” AND “Mining Project”.

Em seguida, na Etapa 2, foi necessário o refinamento da pesquisa através de busca de trabalhos no Portal de Periódicos da CAPES, sendo encontrados como resultado:

- “Analytic Hierarchy Process” AND “AHP” - Retornou 17.048 resultados;
- “Multicriteria decision analysis” AND “Decis* Mak*” - Retornou 742 resultados;
- “Mining Project” AND “Analytic Hierarchy Process” - Retornou 47 resultados; e
- “AHP” AND “Mining Project” - Retornou 66 resultados.

Na etapa seguinte, foi efetuada a definição das combinações das palavras-chave com maior refinamento.

Combinações das palavras-chave:

- “Multicriteria decision analysis” AND “Decision Making” AND “Analytic Hierarchy Process” - Alterada em relação à segunda etapa (palavras-chave Etapa 2: “Analytic Hierarchy Process” AND “AHP”), uma vez que definiu melhores resultados;
- “Multicriteria decision analysis” AND “Decision Making” - Alterado em relação à etapa 2 (palavras-chave Etapa 2: “Multicriteria decision analysis” AND “Decis* Mak”) porque o * não é aceito em todas as bases de dados escolhidas;
- “Mining Project” AND “Analytic Hierarchy Process”;
- “AHP” AND “Mining Project”.

As combinações das palavras-chave foram adaptadas às bases de dados selecionadas. Os asteriscos foram removidos para manter-se um padrão de pesquisas, uma vez que o símbolo não era aceito em todas as bases de dados previamente escolhidas. Ainda nesta etapa, a partir das bases de dados identificadas e testadas, foram selecionadas as bases de dados a seguir: Scopus, Science Direct e Web of Science.

A seleção se deu devido à maior disponibilidade de artigos de acesso disponíveis nessas bases e também a maior consistência nas buscas. As demais bases verificadas não apresentaram acesso disponível, ou seja, parte de seus conteúdos se apresentavam inacessíveis ou eram mais voltadas para outras áreas acadêmicas. Como parte do refinamento da pesquisa, optou-se pela realização de busca por artigos publicados no período de janeiro a julho do ano de 2021, visando a uma maior incidência de trabalhos.

Na Etapa 4 foi realizada a busca definitiva de dados referente à pesquisa, seguindo-se os critérios definidos na etapa anterior, sendo obtidos:

- “Multicriteria decision analysis” AND “Decision Making” AND "Analytic Hierarchy Process" - 461 resultados;
- “Mining Project” AND "Analytic Hierarchy Process" - 82 resultados;
- “AHP” AND “Mining Project” - 82 resultados.

Na Etapa 5 foram efetuados procedimentos de filtragem onde todos os trabalhos buscados nas bases de dados selecionadas nas etapas anteriores foram reunidos no gerenciador de referências – o Mendeley® – e, em seguida, eliminou-se trabalhos duplicados, trabalhos cujos títulos, *abstract* e palavras-chave não estavam fazendo sentido como tema em questão, trabalhos discorridos em conferências e capítulos de livros e, como resultado desta etapa, em função das ocorrências aqui detectadas, muitos trabalhos foram eliminados por causa de divergências com o tema e objetivos descritos neste trabalho, sendo obtidos 18 artigos, finalmente.

Foi através da Etapa 6 que se identificou o Fator de Impacto (FI) e foi possível buscar as informações do ano de publicação e o número de citações, que foram obtidos através da ferramenta Google Scholar. Nesta etapa foram baixados e arquivados todos os artigos, não sendo necessário procurá-los na Etapa 8.

Na Etapa 8, os 18 artigos mais relevantes foram colocados em ordem decrescente de *InOrdinatio* utilizando-se a Equação 1. Foram considerados o Ano de Pesquisa como 2021 e Ano de Publicação correspondente a cada artigo (Quadro 1). Neste trabalho, foi considerado o valor 10 para α de forma a conceder maior peso para trabalhos mais recentes.

Quadro 1. Aplicação da etapa 7 para os dez trabalhos mais relevantes

	Author	Title	Journal Booktitle	Reftype	FI	CI	Year	InOrdin
1º	Shen, L. M. Kamalakanta B., A.	Developing a sustainable development framework in the context of mining industries: AHP approach	Resources Policy	Article	5,63	148	2015	188,01
2º	Sitorus, F. Cilliers, J. J. Brito-Parada, P. R.	Multi-criteria decision making for the choice problem in mining and mineral processing: Applications and trends	Expert Systems with Applications	Article	6,95	79	2019	159,01
3º	Moran, C. J. Lodhia, S. Kunz, N. C. Huisingh, D.	Sustainability in mining, minerals and energy: new processes, pathways and human interactions for a cautiously optimistic future	Journal of Cleaner Production	Article	7,25	122	2014	152,01
4º	Pimentel, B. S. Gonzalez, E. Santibañez B., G. N. O.	Decision-support models for sustainable mining networks: Fundamentals and challenges	Journal of Cleaner Production	Article	7,25	96	2016	146,01
5º	Cappuyns, V.	Inclusion of social indicators in decision support tools for the selection of sustainable site remediation options	Journal of Environmental Management	Article	6,79	67	2016	117,01
6º	Manero, A. K. Marit S., R. M. Ben J., D. Boggs, G. Y. R.	A framework for developing completion criteria for mine closure and rehabilitation	Journal of Environmental Management	Article	6,79	8	2020	98,01

7º	Cui, C. Q. Wang, B. Zhao, Y. X. Xue, L. M.	Waste mine to emerging wealth: Innovative solutions for abandoned underground coal mine reutilization on a waste management level	Journal of Cleaner Production	Article	7,25	7	2020	97,01
8º	Badri, A. Nadeau, S. Gbodossou, A.	A new practical approach to risk management for underground mining project in Quebec	Journal of Loss Prevention in the Process Industries	Article	6,79	73	2013	93,01
9º	Dayo-Olupona, O. Genc, B. Onifade, M.	Technology adoption in mining: A multi-criteria method to select emerging technology in surface mines	Resources Policy	Article	5,63	1	2020	91,01
10º	Bui, N. T. Kawamura, A. Kim, K. W. P.	Proposal of an indicator-based sustainability assessment framework for the mining sector of APEC economies	Resources Policy	Article	5,63	24	2017	84,01

Fonte: Autores

Nesta última etapa, os 10 trabalhos selecionados com maior índice de ordenação a partir dos dados encontrados na Etapa 7, foram selecionados para esta etapa em que a leitura sistemática desses possibilitou a elaboração de um levantamento minucioso dos seus objetivos, dos problemas de pesquisa, do setor de atuação, dos métodos aplicados além da possibilidade da verificação de quais soluções encontradas pelo autores, as suas limitações e as sugestões para trabalhos futuros, conforme resumos elaborados pelos autores (Quadro 2).

Quadro 2. Aplicação da Etapa 9 para os 10 trabalhos mais relevantes

Nº	Objetivos	Problema	Método	Soluções	Limitações	Sugestões Trabalhos Futuros
1º	Desenvolver estrutura de desenvolvimento sustentável para indústrias de mineração utilizando o método AHP.	Empresas do ramo da mineração ainda contribuem negativamente para o componente ecológico.	Utilização do método AHP	Diagnóstico de aspectos mais fracos do supply chain indiano para a concentração de esforços, que são: "A abordagem de implementação apropriada" e a "melhoria contínua".	tamanho da amostra pequeno (21), cuidado ao generalizar os resultados. Apenas 63 fatores de sucesso foram incluídos neste estudo; AHP tem a limitação de captar imprecisões	Considerar o AHP fuzzy em estudos futuros; incluir mais fatores de sucesso em estudos futuros, e métodos estatísticos.
2º	Estabelecer aplicações da tomada de decisão multicritério para o problema de escolha na mineração e processamento mineral	Apesar de o potencial da tomada de decisão multicritério (MCDM) para superar problemas na mineração seja reconhecido, nenhuma revisão da literatura nesses campos foi conduzida	Revisão da literatura	o problema mais abordado tem sido a seleção de métodos de mineração, enquanto o AHP tem sido o método multicritério mais utilizado, com aumento também de métodos híbridos.	disparidades entre os tomadores de decisão, como competências, habilidades e compliance podem levar a uma opinião tendenciosa como grupo.	Melhorar métodos de decisão multicritério e suas aplicações em problemas de decisão do mundo real, o que beneficiaria as comunidades de mineração e processamento mineral
3º	Analisar de forma integrativa as dimensões ecológicas, ética, econômica e tecnológica resultantes da demanda de minerais e energia.	Impactos socioambientais em decorrência da indústria de mineração.	Revisão da literatura e estudos de caso	A contribuição geral do volume desenvolvido é que ele renova o debate sobre os desafios da sustentabilidade para a indústria de mineração e fornece percepções transdisciplinares	Não mencionado pelo autor	Existem oportunidades para pesquisas futuras se basearem nesse corpo fundamental de trabalho para abordar as lacunas de pesquisa e aproveitar as sinergias com as

			para resolver alguns desses desafios.	pesquisas existentes		
4º	Integrar objetivos ambientais e sociais em decisões estratégicas, táticas e operacionais na indústria	Impactos socioambientais em decorrência da indústria de mineração.	Revisão bibliográfica com análise de conteúdo	Ampla revisão da literatura cobrindo todo o ciclo de vida da mina; apresenta discussão de importantes lacunas de pesquisa e oportunidades de desenvolvimento	Vasta literatura sobre gestão sustentável da cadeia de suprimento, porém, apenas uma pequena parte aplica métodos quantitativos, e um número ainda menor de artigos tenta abordar a dimensão social da sustentabilidade	Integrar a avaliação do ciclo de vida com programação matemática e / ou métodos de decisão multicritério é uma abordagem promissora
5º	Avaliar a sustentabilidade de um projeto de remediação	Riscos humanos e ambientais e os custos de remediação devido a contaminação de uma variedade de fontes industriais, mineração e gestão de resíduos.	Seleção de Ferramentas de suporte à decisão e refinamento de lista de indicadores sociais	Adoção de subindicadores permitiu avaliar de forma mais precisa se os diferentes aspectos sociais foram tratados por uma série de ferramentas de apoio à decisão, sem perder a ideia geral de que estes indicadores suplementares os seis princípios-chave que o SuRF-UK associou à remediação sustentável.	A consideração dos aspectos sociais nas ferramentas de apoio à decisão investigadas é limitada, mas percebe-se um claro aumento nas ferramentas desenvolvidas mais recentemente	Mais pesquisas são necessárias para compreender os principais fatores que contribuem para a percepção de risco da sociedade em relação ao risco associado tanto à remediação quanto à reutilização.
6º	Desenvolver uma estrutura sistemática para a definição dos critérios de conclusão para fechamento e reabilitação de mina.	Reabilitar os locais de mineração para um estado que seja seguro, não poluente e capaz de suportar um uso de terra pós-mineração acordado.	Revisão da literatura, revisão de diretrizes internacionais, pesquisas e entrevistas	A estrutura resultante da nossa investigação identifica seis componentes-chave na definição dos critérios de conclusão do local da mina	Leis praticadas localmente e governança podem influenciar como a estrutura é aplicada	Aplicação prática de estrutura desenvolvida em outros trabalhos para testar sua validade e eficácia, em várias jurisdições de mineração
7º	Apresentar soluções inovadoras para reutilização de mina subterrânea de carvão abandonada em um nível de gestão de resíduos	A reutilização de minas de carvão abandonadas desempenha um papel crítico no desenvolvimento sustentável da indústria de mineração.	Revisão da Literatura e fontes de dados	Resultados indicam que exemplo prático da área de mineração em Pequim pode ser empregado para selecionar alguns padrões de reutilização potenciais para minas de carvão subterrâneas abandonadas	As condições listadas no artigo precisam de mais complementação e perfeição para manter seu papel no reaproveitamento de minas abandonadas.	condições listadas neste artigo precisam de mais complementação e aperfeiçoamentos; Adoção de um sistema de decisão auxiliado por computador também é iminente necessário para ser desenvolvido
8º	Apresentar uma abordagem prática para o gerenciamento de riscos em projetos de mineração usando o método AHP	Identificação e implementação de estratégias de monitoramento e controle de riscos e incertezas, a fim de lidar com uma	Revisão Literatura, pesquisa, AHP, SSM (Soft Systems Methodology), entrevistas, questionários	Apresentação de dois sistemas de avaliação de riscos: o "sistema analítico", que se aplica a regras e modelos padrões, como cálculos	As influências humanas são fortemente dominantes, como comportamentos, pensamentos e seus objetivos pessoais e profissionais, o que	Desenvolvimento de um banco de dados de OHS útil que poderá ser aplicável em todo o setor de mineração de Quebec, com

	variedade de problemas e desafios		estocásticos. O segundo é o "sistema experimental", que se concentra na intuição e nas emoções humanas	dificulta mensurar as análises de dados de forma precisa.	ajustes para acomodar o caráter único de cada novo projeto de mineração.	
9º	Desenvolver um algoritmo analítico que auxiliasse na filtragem de uma extensa lista de tecnologias com o objetivo de selecionar as mais adequadas para uma operação de mineração	Necessidade urgente de um roteiro e estratégia de tecnologia coerente para ajudar a facilitar a adoção e implementação de tecnologia na indústria de mineração	Utilização dos métodos AHP e PROMETHEE	Demonstrar a aplicação de dois métodos MCDA na avaliação de tecnologias emergentes para a seleção de uma única ou grupo de tecnologias preferidas para qualquer empresa de mineração.	"Estudo limitado devido à sua natureza hipotética que envolveu apenas um tomador de decisão, quando em um contexto de mineração uma mina típica teria vários tomadores de decisão."	Pesquisas futuras podem investigar um problema de decisão de tecnologia modelando mais tomadores de decisão; testar outras técnicas e compará-las
10º	Proposta de uma estrutura para avaliação de sustentabilidade baseada em indicadores (iSAF) para avaliar a sustentabilidade do setor de mineração em escalas nacional e global	Estruturas de avaliação da sustentabilidade do setor de mineração foram desenvolvidas apenas em pequenas escalas, como empresas e cidades.	Revisão de Literatura, pesquisa, AHP clássico e as teorias fuzzy Zadeh (1965), Chang (1996), (Kahraman, 2008)	Utilizou uma teoria híbrida chamada de AHP fuzzy que combina os métodos de Zadeh, Saaty e Vargas e Kahraman. Os resultados mostraram que o iSAF foi uma estrutura adequada para prevenir incertezas e imprecisões na tomada de decisões	Escala de Saaty não reflete as incertezas do pensamento humano; os melhores resultados atualmente não são alcançados globalmente para a gestão ambiental, devido à natureza competitiva das nações com a economia global	Utilizar dados regionais específicos, valores da comunidade, indicadores ambientais e desempenho de operação da mina para determinar a melhor forma de direcionar as políticas e decisões.

Fonte: Autores.

Dessa forma, com a aplicação da *Methodi Ordinatio*, obteve-se 10 trabalhos que aplicaram o método AHP como método de apoio à decisão em empresas de mineração cujos resultados são analisados a seguir.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este trabalho evidenciou a importância da *Methodi Ordinatio* para a obtenção, análise e seleção de trabalhos acadêmicos mais relevantes através do fator de impacto (FI) e pela crescente exigência do sistema "Qualis" da CAPES.

Através deste trabalho e com a aplicação da *Methodi ordinatio* foi possível verificar que, apesar do aumento da quantidade de trabalhos relevantes na mineração, a quantidade das publicações ainda está muito baixa quando comparamos com outras áreas de pesquisa.

No início das buscas de informações na base do Periódico Capes foi efetuada uma pesquisa preliminar exploratória com a combinação de palavras-chave e com a adição de operadores booleanos e a quantidade de trabalhos encontrados foi muito grande, ou seja, 17.048 trabalhos. Após outros refinamentos, a eliminação de trabalhos repetidos e trabalhos não aderentes com os objetivos do tema, foi possível reduzir a base de trabalhos acadêmicos para uma quantidade de 10 trabalhos em ordem decrescente de *InOrdinatio*.

Os artigos abordaram diversas dimensões da sustentabilidade e da gestão na mineração. Uma das propostas utilizou o método AHP para identificar aspectos críticos no *supply chain* da indústria de mineração sustentável, destacando a necessidade de melhoria contínua e implementação adequada, mas enfrentou limitações no tamanho da amostra e na abrangência dos fatores analisados. Outro estudo analisou o uso de métodos com multicritério, com destaque para o AHP e métodos híbridos, mas apontou desafios relacionados à subjetividade e aos vieses entre os tomadores de decisão.

A análise das dimensões ecológicas, éticas, econômicas e tecnológicas trouxe uma perspectiva transdisciplinar para enfrentar os desafios da sustentabilidade, enquanto outra revisão abordou todo o ciclo de vida da mina, identificando lacunas na aplicação de métodos quantitativos e na inclusão de aspectos sociais. Já um estudo sobre remediação utilizou subindicadores sociais para aprimorar ferramentas de decisão, mas revelou que a consideração de aspectos sociais ainda é limitada.

Para o fechamento e reabilitação de minas, foi desenvolvida uma estrutura baseada em seis componentes principais, cuja aplicação é influenciada por leis e governança locais. A reutilização de minas de carvão abandonadas também foi explorada, propondo padrões práticos e destacando a necessidade de complementar e automatizar processos de decisão.

Na gestão de riscos em mineração, foram apresentados sistemas que combinam análises analíticas e experimentais, mas fatores humanos como emoções e comportamentos dificultam a precisão das análises. Uma abordagem para a seleção de tecnologias emergentes aplicou AHP e PROMETHEE, porém limitou-se a um estudo hipotético com um único tomador de decisão. Por fim, a criação de uma estrutura global de avaliação de sustentabilidade, usando o AHP fuzzy, mostrou-se eficaz na redução de incertezas, mas enfrenta desafios relacionados à competitividade entre nações e à adequação das ferramentas disponíveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adoção de metodologias de apoio à decisão para diferentes organizações, sobretudo as empresas de mineração, se mostram como importantes ferramentas orientadoras e que transformam, muitas vezes, a árdua tarefa de decidir em algo mais objetivo, assertivo, e que se apoia em critérios objetivos e com base técnico-científica.

A adoção de boas ferramentas de decisão, como no caso deste trabalho que buscou na literatura a aplicação do método AHP em projetos mineradores, foi de grande importância para a solução dos problemas encontrados nos trabalhos pesquisados visto que o método AHP se mostrou como uma ferramenta de grande versatilidade e flexibilidade.

A utilização do método AHP está sujeito a críticas, porém, não é negável que a utilização do método AHP pode representar para as empresas mineradoras um diferencial competitivo frente à grande concorrência ou, até mesmo, devido à oscilação nos preços dos minérios que faz com que as decisões devam ser cada vez mais assertivas e os erros cada vez menos frequentes. O método AHP estimula o diálogo entre os agentes decisores que podem ser de diversas áreas dentro da empresa, o que o torna cada vez mais um método mais robusto na tomada de decisão.

REFERÊNCIAS

- Almeida, A. T. de & Costa, A. P. C. S. (2003). *Aplicações com Métodos Multicritério de Apoio a Decisão*. Editora Universitária.
- Badri, A., Nadeau, S., & Gbodossou, A. (2013). A new practical approach to risk management for underground mining project in Quebec. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(6), 1145-1158.
- Bornia, A. C. & Wernke, R. (2013). A contabilidade gerencial e os métodos multicriteriais. *Revista Contabilidade & Finanças*. FIPECAPI - FEA - USP. 14(25), 60-71.
- Clarivate Analytics. (2018). *TheClarivate Analytics Impact Factor*. Recuperado de <https://clarivate.com/essays/impact-factor/>
- Costa, H. G. (2002). *Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão*. Niterói: H.G.C.
- Davis, M. J., et al. (2020). *Impact Factor, h-Index, and Alternative Metrics: How Should We Measure the Impact of Publications in Plastic Surgery?* 146. United States: American Society of Plastic Surgeons. Recuperado de <https://ocw-ovid.ez1.periodicos.capes.gov.br/article/00006534-202008000-00070/HTML>
- Bellis, N. de (2009). *Bibliometrics and Citation Analysis: from the Science Citation Index to Cybermetrics*. Lanham, Maryland, Toronto, Plymouth, UK: The Scarecrow Press.
- Domingues, R. S. et al. (2020). Evolução histórica do Fator de Impacto (FI) na base Web of Science (WoS) dos periódicos do Brasil entre 2008 e 2018. *Ciência da Informação em Revista*, 7(esp.), 1-9. <https://doi.org/10.28998/cirev.2020.7ne.01-09>
- Machado Jr., C. et al. (2013). Estudo bibliométrico da sustentabilidade ambiental: os 15 anos do Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais – SIMPOI. *J Health Sci Inst.*, 31(2), 123-131.
- Macias-Chapula, C. A. (1998). O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional. *Ciência da Informação*, 27(2), nd.
- Nützi, M. et al. (2019). Factors, assessments and interventions related to job matching in the vocational rehabilitation of persons with spinal cord injury. *Work*, 64(1), 117-134.
- Pagani, R. N. (2018). Avanços na composição da Methodi Ordinatio para revisão sistemática de literatura. *Ciência da Informação*, 46(2), 161-187.
- Pereira, C. S., Dias, C. de F. B., Tenório, M. M., & Santos Jr., G. dos. (2021). Sala de Aula Invertida: Cenários Atuais na Formação de Engenheiros. *Abakós*, 9(1), 43-59.
- Saaty, T. L. (1991). *Método de Análise Hierárquica*. Tradução de Wainer da Silveira e Silva, McGraw-Hill, Makron, São Paulo, SP.
- Sena, L. A. de. (2007). Uma aplicação de análise de decisão com o método AHP Processo de hierarquia analítica: um estudo sobre adoção de Sistema eletrônico de cobrança no Transporte público urbano. 101 f. Dissertação (Mestrado em Estratégia; Qualidade; Gestão Ambiental; Gestão da Produção e Operações) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. Recuperado de <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/15111>
- Shen, L., Muduli, K., & Barve, A. (2015). Developing a sustainable development framework in the context of mining industries: AHP approach. *Resources Policy*, 46, 15-26.
- Vale, G. M. V. & Lopes, H. E. G. (2010). Cooperação e alianças: perspectivas teóricas e suas articulações no contexto do pensamento estratégico. *Revista de Administração Contemporânea*, 14(4), 722-737.
- Vieira, G. H. (2006). Análise e comparação dos métodos de decisão multicritério AHP Clássico e Multiplicativo, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP.
- Zeleny, M. (1982). *Multiple Criteria Decision Making*. McGraw-Hill.