



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE JURUTI
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE MINAS

NERLIANE DOS SANTOS SOUZA

**AS TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS E DE INOVAÇÃO PARA MINERAÇÃO,
GÊMEO DIGITAL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

JURUTI-PA

2023

NERLIANE DOS SANTOS SOUZA

**AS TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS E DE INOVAÇÃO PARA MINERAÇÃO,
GÊMEO DIGITAL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de minas, no Campus Universitário de Juruti, da Universidade Federal do Oeste do Pará.

Orientador: Prof. Mes. Alan Anderson de Arruda Tino.

JURUTI-PA

2023

Souza, Nerliane dos Santos.

As tendências tecnológicas e de inovação para mineração, gêmeo digital: uma revisão bibliográfica / Nerliane dos Santos Souza. - Santarém, 2023.

19fl.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Universidade Federal do Oeste do Pará-UFOPA. Campus Universitário de Juruti. Bacharelado em Engenharia de Minas.

Orientador: Alan Anderson de Arruda Tino.

1. Digital Twin. 2. Indústria 4.0. 3. Mineração. I. Tino, Alan Anderson de Arruda. II. Título.

UFOPACampus Juruti

CDD 551.10981 23.ed.

NERLIANE DOS SANTOS SOUZA

**AS TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS E DE INOVAÇÃO PARA MINERAÇÃO,
GÊMEO DIGITAL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de minas, no Campus
Universitário de Juruti, na Universidade
Federal do Oeste do Pará.

Conceito: Aprovado

Juruti, 19 de Outubro de 2023

Alan Anderson de Almeida Lima
(Orientador)

Mathius Mascis
(Avaliador 1)

Quirino
(Avaliador 2)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, que me concedeu perseverança e sabedoria, em todos os momentos.

A minha família pelo incentivo e apoio ao longo da jornada acadêmica. Pai Nilson Soares e mãe Aucione Pereira, muito obrigada por entenderem os momentos de ausência, saibam que sem vocês a caminhada seria bem mais difícil nessa trajetória.

A Universidade Federal do Oeste do Pará (Ufopa), Campus Universitário de Juruti e aos professores do curso de Engenharia de Minas por todas as experiências e conhecimentos compartilhados.

Ao meu orientador Mestre Alan Anderson de Arruda Tino e ao Profº. Michael José Batista dos Santos, muito obrigada pela oportunidade, pelas incansáveis ajudas e incentivos, pela excelente orientação e contribuição durante minha jornada no CBMINA, além da paciência e dedicação durante minha formação acadêmica.

Às minhas amigas Joely Pinheiro e Adria Souza, pela contribuição no desenvolvimento do resumo apresentado e pela amizade que seguirá ao longo de nossas vidas.

Ao Leonardo Viana por seu companheirismo, afeto e incentivo que foram fundamentais ao longo dessa jornada.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, muito obrigada.

**AS TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS E DE INOVAÇÃO PARA MINERAÇÃO,
GÊMEO DIGITAL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

SOUZA, N. S.¹ SILVA, A.S.² PINHEIRO, J. P.³ GOMES, A.C.F.⁴ SANTOS, M. J. B.⁵

¹Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Departamento de Engenharia de Minas, e-mail: nerlianesantos13@gmail.com

²Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Departamento de Engenharia de Minas, e-mail: adria.souza.as17@gmail.com

³Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Departamento de Engenharia de Minas, e-mail: joelylourengoavelar@gmail.com

⁴Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), Departamento de Engenharia de Transportes, Química e de Minas, e-mail: ana.gomes1@ufmt.br

⁵Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Departamento de Engenharia de Minas, e-mail: Michael.santos@ufopa.edu.br

RESUMO

A dinâmica global faz da mineração um segmento estratégico para muitos países, no entanto, é um setor que enfrenta inúmeros desafios. Portanto, a busca por inovação tecnológica é importante, deste modo, a mineração aposta no *Digital Twin* (DT), ou Gêmeo Digital, como caminho a seguir, pois, essa tecnologia permite monitorar e minimizar a variabilidade dos processos decorrentes do clima, geologia do corpo de minério e desempenho dos equipamentos. O objetivo deste trabalho foi apresentar a aplicabilidade e conceitos relacionados a tecnologia *Digital Twin* na mineração através de uma revisão bibliográfica exploratória. Foram realizadas pesquisas exploratórias nas principais bases de dados e periódicos científicos e foram selecionados artigos científicos entre os anos 2015 e 2023 e experiências de aplicação de DT de algumas empresas multinacionais. Foi observado pequena relação de bibliografia publicada sobre a temática Gêmeo Digital x Mineração no Brasil. Contudo, observa-se crescimento da temática, devido aos benefícios da sua utilização para a otimização de diversas áreas do setor mineral.

Palavras-Chave: *Digital Twin*; Indústria 4.0; Mineração; Tecnologia.

ABSTRACT

The global dynamics make mining a strategic segment for many countries, however, it is a sector that faces numerous challenges. Therefore, the search for technological innovation is essential, thus, mining bets on Digital Twin (DT), or Digital Twin, as a path to follow, because this technology allows monitoring and minimizing the variability of processes arising from climate, geology of the ore body and equipment performance. This paper aimed to present the applicability and concepts related to Digital Twin technology in mining through an exploratory literature review. Exploratory research was conducted in the central databases, scientific journals, and scientific articles between 2015 and 2023, and experiences of DT application of some multinational companies were selected. A small ratio of published bibliographies was observed on the theme Digital Twin x Mining in Brazil. However, growth of the theme is observed, due to the benefits of its use for the optimization of several areas of the mineral sector.

Keywords: Digital Twin; Industry 4.0; Mining; technology.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
4. CONCLUSÕES.....	17
5. REFERÊNCIAS	18

1. INTRODUÇÃO

A evolução digital tornou-se uma era de oportunidades, pois possibilita que grandes empresas adotem táticas para resolverem problemas relacionados a negócios e nos mais diversos setores da economia, garantindo eficiência em sua produtividade, segurança em seus processos e decisões mais assertivas. Deste modo, a dinâmica global faz da mineração um segmento estratégico para muitos países, no entanto, é um setor que enfrenta inúmeros desafios.

A tecnologia *Digital Twin (DT)*, consiste em um modelo muito realista que replica as interações em tempo real do processo, equipamento ou sistema no qual está sendo aplicado (ROSEN *et al.*, 2015). O DT coleta, recebe e avalia informações, permitindo planejar, gerenciar e agir com base nos resultados e resumos obtidos, a fim de reduzir custos, simplificar ciclos de produção, otimizar processos, prever dificuldades futuras e detectar necessidades de previsão ineficientes.

No âmbito da mineração essas tecnologias são capazes de monitorar e minimizar a variabilidade dos processos decorrentes do clima, geologia do corpo de minério e desempenho dos equipamentos. Na parte de caracterização de reservas, por exemplo, o sistema permitirá uma gestão proativa de taxas de recuperação e otimização das plantas de beneficiamento através de uma previsão mais exata (INTERSYSTEMS, 2022).

Possivelmente um dos maiores desafio da aplicação desse tipo de modelo digital na mineração brasileira consiste na falta de dados ou de dados não contínuos evidenciados na maioria das mineradoras. Dados esparsos podem ter um impacto significativo sobre a eficácia e a precisão dos gêmeos digitais no setor de mineração brasileiro. Enfrentar este desafio é crucial para liberar todo o potencial dos gêmeos digitais.

Por outro lado, algumas mineradoras internacionais estabilizadas no Brasil por muitas décadas já conseguiram superar este obstáculo, como a Vale em Carajás com os sistemas de controle e despacho, que segundo Lacerda (2019) “é uma ferramenta de gerenciamento de equipamentos de mina que permite maximizar a produção e eficiência e minimizar os custos operacionais a partir da tomada de decisões utilizando dados em tempo real”. Esse sistema abrange as operações da mina, central de monitoramento geotécnico e a usina de beneficiamento mineral que são monitoradas 24 horas por dia com registro de dados em tempo real.

Ao investir em coleta de dados, análises avançadas e iniciativas colaborativas, as empresas de mineração podem atenuar o impacto dos dados esparsos e aumentar a eficácia de seus sistemas de gêmeos digitais. Além disso, as operações de mineração geram dados de várias fontes, a integração e a padronização desses dados podem ser complexas. Garantir a qualidade, a precisão e a compatibilidade dos dados em diferentes sistemas e plataformas é fundamental para o funcionamento confiável dos gêmeos digitais (AMMAR *et al.*, 2022).

O uso do DT como ferramenta de simulação contribui para um entendimento mais dinâmico dos gargalos e compensações do sistema produtivo, ajudando a estabelecer o potencial volumétrico e prioridades para redução de perdas e melhores táticas operacionais por meio da visão integrada da cadeia de valor. Além de permitir a predição de eventos externos, simulação de respostas e sincronização rápida da cadeia de valor, minimizando as variabilidades (PEHLKEN e BAUMANN, 2020)

A análise preditiva também pode aumentar janelas de manutenção e disponibilidade de ativos, além de possibilitar a predição de tendências de mercado, alinhamento e precificação de acordo com as análises (CETEM, 2018). Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi apresentar a aplicabilidade e conceitos relacionados a tecnologia *Digital Twin* na mineração através de uma revisão bibliográfica exploratória.

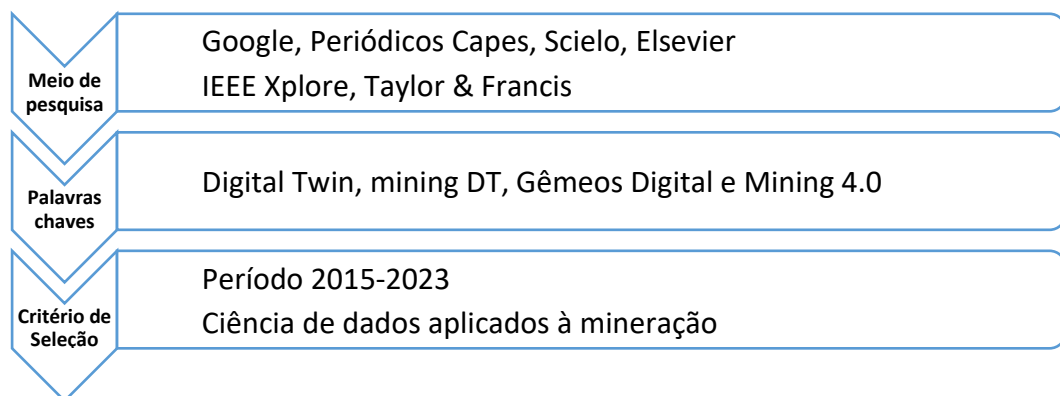
2. MATERIAL E MÉTODOS

Para desenvolvimento do trabalho foi realizado uma revisão bibliográfica exploratória, onde os dados foram pesquisados e encontrados nas principais bases de dados e periódicos científicos (MALHOTRA, N. K (2001). Em um primeiro momento foi utilizado o gerenciador de buscas Google, ferramenta global de pesquisa de conteúdo de fácil compreensão, o qual apresentou evidências relevantes e disponíveis sobre possíveis aplicações do *Digital Twin* para o setor de mineração.

Em um segundo momento optou-se pelos bancos de dados científicos, visando uma revisão sistemática da literatura, os principais bancos de dados consultados foram os Periódicos Capes, Scielo, Elsevier, Taylor & Francis e a IEEE Xplore. Nesta etapa, diferentes pesquisas foram realizadas através da combinação de palavras-chave como, por exemplo *Digital Twin*, *mining DT*, *Gêmeos Digital* e *Mining 4.0*.

Dentre esses bancos de dados apresentados, os materiais mais relevantes para a pesquisa foram encontrados nos Periódicos Capes, na biblioteca digital IEEE Xplore e na base de dados da Taylor & Francis. Como critério de seleção, excluíram-se os estudos que não voltavam à ciência de dados para indústria da mineração e optou-se por estudos e materiais atuais, elegendo trabalhos realizados no período de 2015 a 2023. A metodologia da pesquisa será esquematizada na Figura 01.

Figura 1-Metotodologia de pesquisa.



Fonte: Autores, 2023

Os resultados da revisão de literatura exploratória foram apresentados através de um quadro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da revisão exploratória mostraram que o conceito de DT em comparação aos simuladores já existentes na mineração e nos diferentes setores da indústria, apresentam diferença na utilização dos recursos que realizam a integração entre o *Digital Twin* e a Inteligência artificial. O seu componente central é uma ferramenta de simulação baseada em modelos físicos, pois visa, justamente, capturar o comportamento físico de um produto ou sistema.

Apesar do DT se apresentar como uma versão com alto grau de aprimoramento em relação aos simuladores, ele não os substituiria, pois, estes ainda desempenham um papel significativo nos processos de otimização (HAZRATHOSSEIN *et al.*, 2023).

No entanto, o DT é uma ferramenta que pode ser utilizado como alternativa de inovação tecnológica na mineração. Segundo Intersystems (2022) o DT oferece a possibilidade de recuperação e otimização das plantas de beneficiamento através de uma previsão mais exata.

As empresas de mineração poderiam utilizar os gêmeos digitais para melhorar a produtividade e a eficiência, analisando dados e executando cenários virtuais. Melhorar a segurança através de plataformas para treinamento e simulação virtual, criando um ambiente livre de riscos no próprio digital twins as empresas podem aumentar a conscientização sobre segurança, reduzir acidentes e garantir a conformidade com as normas de segurança.

A Avaliação de impactos ambientais também poderiam ser simulados, possibilitando a análise de dados executados em cenários virtuais, permitindo identificar estratégias que minimizem a pegada ecológica, implementar práticas sustentáveis e garantir a conformidade com as normas ambientais.

O DT permite, ainda, o monitoramento e o controle remoto das operações de mineração, beneficiamento e geometurgia integrado, porém, quanto mais integrados os processos são, maior o nível de tecnologia envolvida do modelo gêmeo digital. Mas isso permitiria que as mineradoras monitorassem suas operações em tempo real, controlando remotamente os equipamentos e tomar decisões embasadas sem estarem fisicamente presentes, melhorando a segurança e a eficiência operacional nas áreas.

Os dados coletados durante a produção podem ser realimentados nos modelos de mineração de gêmeos digitais de várias maneiras para melhorar sua precisão e eficácia, incluindo a integração da planta mineral de mineração e da geometurgia (quando houver esse processo). Por meio de integração em tempo real, streaming de dados, análise de dados

históricos, análise de dados e loops de feedback, as empresas de mineração podem aumentar a precisão, a confiabilidade e a eficácia de seus sistemas de gêmeos digitais. Essa integração dos dados de produção permite que o gêmeo digital forneça *insights* valiosos, otimize as operações e dê embasamento à tomada de decisões orientadas por dados em tempo real (CHEN *et al.*, 2021).

De acordo com Cetem (2018), o DT pode ser utilizado como soluções digitais para resolver problemas de negócios, portanto, a atividade de mineração compreende a importância dessa alternativa tecnológica na capacidade de monitoramento, análise e resposta humana.

Desta forma, o DT é uma opção tecnológica que está ganhando mais espaço e visibilidade nos sistemas de negócios dos setores industriais, devido ao aumento da precisão e grau de confiabilidade que esses sistemas vêm apresentando.

Algumas empresas do setor mineral já vêm utilizando o DT em suas atividades de exploração, elas apresentam resultados positivos e satisfatórios pela aplicação do modelo matemático. Algumas empresas de renome no setor de mineração implementaram tecnologias desenvolvidas através do conceito DT e seus ganhos, esses dados estão dispostos no quadro 1.

Quadro 1- Implementadoras do DT e seus ganhos

IMPLEMENTADOR	GANHOS OBTIDOS
Rio Tinto	✓ Aumento de produtividade e segurança; ✓ Entrega segura e bem-sucedida do primeiro minério da mina de Gudai Darri, em 2022.
Exxaro	✓ Aumento da produtividade; ✓ Primeira mina digital a produzir carvão térmico seis meses antes do esperado.
South32	✓ Otimização completa das operações; ✓ Aumento de 7% na produtividade; ✓ Redução de 25% nos atrasos de ciclo.
Gerdau	✓ Redução de custos; ✓ Estratificação de informações sobre qualidade de insumos.

Fonte: Autores, 2023.

A Rio Tinto é uma empresa líder em mineração inteligente, para melhorar seus processos, aumentando a produtividade e segurança, o uso da robótica em laboratórios de amostragem, na distribuição de peças, e o uso de caminhões autônomos, já é uma realidade desde o nascimento da mina de Gudai-Darri, mas, a principal referência ao conceito do *Digital Twin* trata-se de uma réplica digital completa da sua planta de processamento, através dos dados coletados na planta, tem-se um ambiente 3D interativo, que permite o monitoramento e a utilização de recursos para treinamento da realidade virtual (BRASIL MINERAL, 2022).

Outra empresa pioneira na implantação de tecnologias DT é a Exxaro, ao implementar na sua mina de carvão de Belfast a empresa almejava monitorar toda cadeia de suprimentos através de dados em tempo real da mina ao porto, visando maior produtividade, segurança e consequentemente, vantagem competitiva. Sua construção foi iniciada em novembro de 2017, e a estimativa para o começo da sua operação era para o ano de 2020, mas em setembro de 2019 a empresa anunciou que em 6 meses a menos do que o esperado, começaria a produzir carvão de alta qualidade. (PETER, 2019)

A South32, implementou a Predix™, tecnologia que conecta equipamentos industriais, possibilitando a análise de dados e percepções instantâneas. A South (2017) alcançou aumento de 7% na sua produção, reduzindo 25% os atrasos do ciclo.

A General Electric relata que em apenas seis meses da implantação das tecnologias DT, foram detectadas duas ocorrências importantes que impediram 130 horas de inatividade na planta de sinterização e custos de mais de US \$1,5 milhão na Gerdau, uma das maiores fornecedoras de aços especiais (GE DIGITAL, 2023).

Entre os principais benefícios dos DTs, estão a otimização operacional, a manutenção preventiva, as melhorias na segurança, a avaliação do impacto ambiental e o aumento significativo no grau de monitoramento e controle das operações na lavra e no beneficiamento mineral.

Através dos dados coletados é possível compreender mais profundamente o desempenho dos processos, o que consequentemente, resultará em seu aperfeiçoamento, gerando ganhos financeiros, operacionais e de segurança.

Apesar dos benefícios que a implementação do *Digital Twin* traz para indústria mineral brasileira, muitos desafios precisam ser considerados, como a falta de infraestrutura básica para a gestão de dados e conectividades em áreas remotas, onde estão instalados os *minesites*.

Em algumas regiões do Brasil, a conectividade limitada ou não confiável com a Internet e a infraestrutura inadequada podem prejudicar a implementação e o funcionamento dos sistemas de gêmeos digitais. Uma infraestrutura de rede robusta é fundamental para a transmissão contínua de dados e para o monitoramento e controle em tempo real.

A implementação de gêmeos digitais exige investimentos significativos em hardware, software e pessoal qualificado. O custo de atualizações de infraestrutura, sensores avançados, ferramentas de análise de dados e manutenção contínua pode representar desafios financeiros para algumas empresas de mineração no Brasil.

A operação de sistemas de gêmeos digitais exige uma força de trabalho qualificada com experiência em análise de dados, simulação e modelagem virtual. A disponibilidade de profissionais com essas habilidades especializadas pode ser limitada no setor de mineração brasileiro, o que exige esforços de treinamento e aprimoramento. Essas são as maiores questões que precisam ser consideradas na implementação dessa nova tecnologia.

Ainda que a tecnologia de hoje já seja capaz de criar um modelo gêmeo digital robusto de alta resolução que englobe aspectos de mina, processamento e geometalurgia, o desenvolvimento de um modelo gêmeo digital tão abrangente exige alta meticulosidade, considerando vários fatores como alta capacidade computacional e infraestrutura tecnológica, modelagem e simulações complexas, colaboração interdisciplinar das diferentes áreas da mineração, além da validação e calibração dos dados em tempo real para garantir a precisão e confiabilidade. Este nível de integração é um desafio hoje não só para implantação em novos lugares, como no Brasil, mas continua sendo um desafio também para as minas que já utilizam a tecnologia DT em sua lavra.

4. CONCLUSÕES

A mineração é um setor que vem utilizando essa ferramenta com objetivo de garantir aumento na produtividade, no entanto, é um conceito pouco difundido na mineração no Brasil, mesmo apresentando muitos benefícios.

Há uma pequena quantidade de trabalhos publicados sobre a temática *Digital Twin x Mineração* no Brasil. Contudo, nos trabalhos encontrados foi observado que essa tecnologia, vem crescendo cada vez mais no setor de mineração, mas ainda se trata de um conceito recente.

Como uma nova tecnologia, o DT apresenta algumas limitações, para enfrentar esses desafios, será necessária uma abordagem abrangente que envolva investimentos em infraestrutura, sistemas de gerenciamento de dados, desenvolvimento de habilidades e processos de gerenciamento de mudanças. Os esforços de colaboração entre empresas de mineração, fornecedores de tecnologia, instituições educacionais e órgãos reguladores são essenciais para superar esses desafios e maximizar os benefícios dos gêmeos digitais no setor de mineração brasileiro.

Para a maioria das minerações brasileiras os *digitais twins* é um futuro ainda muito distante. Contudo, é provável que as grandes mineradoras multinacionais já estabilizadas em *minesites* centenários no Brasil venham a implementar os primeiros DTs nos próximos anos ou até décadas. Isto porque essas companhias possuem menos desafios e estão mais propensas a superar os maiores obstáculos da aplicação dos DTs, visto que já possuem infraestrutura consolidada, central de monitoramento e controle 24 horas por dia com armazenamento de dados em nuvem, integrando a maioria dos dados da mina e usina de beneficiamento mineral. Estas multinacionais precisarão ainda enfrentar os altos custos de implementação dos gêmeos digitais e a capacitação de mão-de-obra altamente qualificada, além do desenvolvimento contínuo de profissionais com conhecimento específico tanto em diferentes áreas da mineração quanto em tecnologia de informação.

5. REFERÊNCIAS

Aline Lorraine Silva Lacerda. Simulação Aplicada A Sistema De Despacho Como Forma De Avaliação Da Influência Da Otimização E Integridade De Dados Na Mina Do Sossego Carajás, PA. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.itv.org/wp-content/uploads/2020/03/TCC-Aline-Lorraine-Silva-Lacerda-vf.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2023.

AMMAR, Ashtarout et al. Digital Twins in the construction industry: A perspective of practitioners and Building Authority. *Frontiers in Built Environment* v. 8. 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbuil.2022.834671/full>

CETEM. Disrupção digital no setor de Mineração - PDF Free Download. (2018). DocPlayer.com.br. Retrieved April 4, 2023. Disponível em: < <https://docplayer.com.br/64236474-Disrupcao-digital-no-setor-de-mineracao.html>>

CHEN, Long et al. Parallel mining operating systems: From Digital Twins to Mining Intelligence. 2021 IEEE 1st International Conference on Digital Twins and Parallel Intelligence (DTPI), 2021. disponível em: https://www.researchgate.net/publication/354768836_Parallel_Mining_Operating_Systems_From_Digital_Twins_to_Mining_Intelligence

DU PREEZ, J. (2021, dezembro 6). Digital Twins in Practice - AVA Solutions. AVA solutions. Retrieved April 29, 2023. Disponível em: < <https://ava.solutions/digital-twins-in-practice/>>

HAZRATHOSSEINI, Arman; MORADI AFRAPOLI, Ali. The advent of digital twins in surface mining: Its time has finally arrived. *Resources Policy* v. 80, p. 103155, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301420722005980>

INTERSYSTEMS. Como a tecnologia de gêmeos digitais está mudando o Setor mineração (2022, October 21). BNamericas. Retrieved April 25, 2023. Disponível em: <https://www.bnamericas.com/pt/entrevistas/como-a-tecnologia-de-gemeos-digitais-esta-moldando-o-setor-de-mineracao>

MALHOTRA, N. K. Concepção de pesquisa exploratória: pesquisa qualitativa. Em: *Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada*. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. Cap.5.
MINÉRIO DE FERRO: Rio Tinto inaugura mina com tecnologia avançada - BRASIL MINERAL.COM.BR. (2022, June 29). Brasil Mineral. Retrieved April 22, 2023. Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br/noticias/rio-tinto-inaugura-mina-com-tecnologia-avancada>

Pacete, L. G. (2022, September 5). Digital twin: como funciona a tecnologia que espelha o mundo real. *Forbes Brasil*. Retrieved April 21, 2023. Disponível em: <<https://forbes.com.br/forbes-tech/2022/09/digital-twin-como-funciona-a-tecnologia-que-espelha-o-mundo-real/>>

PEHLKEN, Alexandra; BAUMANN, Sabine. Urban mining: Applying Digital Twins for Sustainable Product Cascade use. 2020 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC). 2020. Disponível em: < <https://www.researchgate.n>

et/publication/344361247_Urban_Mining_Applying_Digital_Twins_for_Sustainable_Product_Cascade_Use> Peter, G. (2020, January 29). Exxaro's Belfast Coal is more than just a mining frontrunner. Mining Review Africa. Retrieved April 29, 2023, Disponível em: <<https://www.miningreview.com/coal/exxaros-belfast-coal-is-more-than-just-a-mining-frontrunner/>>

ROSEN, R., WICHERT, G. V., LO, G., & BETTENHAUSEN, K. D. (2015). About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing. IFAC-PapersOnLine, 48(3), 567-572. 10.1016/j.ifacol.2015.06.141 SAGA. Mineração 4.0: futuro ou realidade da mineração? (2022, May 13). Saga Consultoria. Retrieved April 24, 2023 Disponível em: <https://sagaconsultoria.com/mineracao-4-0-futuro-ou-realidade-da-mineracao/>

SOUTH32. YouTube. Retrieved April 29, 2023. Disponível em: <https://www.south32.net/search?searchQuery=Redu%C3%A7%C3%A3o+%&indexCatalogue=default&wordsMode=AllWords&sf_culture=en&year=&topics=>

TÍTULO DO TRABALHO
(FONTE: ARIAL, 14, NEGRITO, CENTRALIZADO, MAIÚSCULO)

SOBRENOME, A.B.¹, SOBRENOME, C.D.², SOBRENOME, E.F.³
(FONTE: ARIAL, 12, NEGRITO, CENTRALIZADO, MAIÚSCULO)

¹Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Departamento de Engenharia de Minas, e-mail: xxx@xxx

²Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Departamento de Engenharia de Minas, e-mail: xxx@xxx

³Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), Coordenação de Processamento e Tecnologias Minerais, e-mail: xxx@xxx.

(Fonte: Arial, 11, centralizado)

RESUMO (ARIAL, 12, NEGRITO, JUSTIFICADO, MAIÚSCULO)

Deverá ser escrito em português, fonte Arial (Corpo), tamanho 12, espaçamento simples e não deverá exceder 200 palavras. O resumo e o abstract não devem ultrapassar a primeira página.

PALAVRAS-CHAVE: Palavra-chave 1; palavra-chave 2; palavra-chave 3; palavra-chave 4.

ABSTRACT (ARIAL, 12, NEGRITO, JUSTIFICADO, MAIÚSCULO)

Should be written in English, font Arial, size 12, simple spacing between lines and should not exceed 200 words. The Resume and the Abstract, including its keywords, should not overtake the first page.

KEYWORDS: keyword 1; keyword 2; keyword 3; keyword 4.

1 INTRODUÇÃO

A introdução é a parte inicial do artigo na qual devem constar a delimitação do assunto tratado, os objetivos da pesquisa e outros elementos necessários para situar o tema do artigo. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018, p. 5).

O artigo completo (incluindo anexos e apêndices, se houver) não deverá ultrapassar 8 páginas, sendo que a primeira página deve conter apenas Título, Autores, Instituição/Empresa de origem, Resumo e Abstract (200 palavras), Palavras-chave e Keywords (até 4 palavras). O trabalho completo poderá ser escrito em português. Utilizar fonte Arial, tamanho 12, recuo especial na primeira linha de cada parágrafo de 1,25 cm. As margens superior e esquerda devem ter 3 cm e as margens inferior e direita devem ter 2 cm. O espaçamento simples deve ser utilizado em todo o texto. O Sistema Internacional de Unidades (SI) deve ser utilizado.

Uma diferenciação clara deve ser feita entre os diferentes tópicos e seções. A lista de vários níveis tipo 1; 1.1.; 1.1.1. é recomendada. Os artigos devem preferencialmente conter a seguinte estrutura: Título, Resumo, Palavras-chave, Abstract, Keywords; Texto Principal (dividido em Introdução, Material e Métodos, Resultados e Discussão e Conclusão) e Referências. Agradecimentos e Apêndice são opcionais. Cada tópico e subtópico deverá aparecer em uma linha única.

Tabelas e Figuras deverão estar centralizadas e conter legenda em fonte Arial, tamanho 10, em negrito e serem numeradas sequencialmente. As Tabelas devem apresentar legenda acima e as Figuras, legenda abaixo. Espaçamento simples deverá ser utilizado em tabelas.

As Equações deverão ser anunciadas previamente no texto e estar centralizadas e numeradas na sequência de aparecimento no texto. Para escrever equações matemáticas e químicas deve ser utilizado o módulo de equação (Equation Write) disponível no Word (Inserir > Equação > Inserir Nova Equação). A seguir há um exemplo de como deve ser apresentada uma equação.

A distribuição das tensões na base de cada coluna é dada pela Equação 1.

$$\sigma_x = \frac{N}{A} + \frac{M}{I} y \quad (1)$$

O cabeçalho das páginas pares deve conter o sobrenome dos autores e das páginas ímpares o nome do evento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Espaçamento simples deverá ser utilizado em tabelas. Deve-se usar fonte Arial, tamanho 10, negrito, nas tabelas e figuras. As tabelas devem ser numeradas em sequência com números inteiros (Tabela 1, Tabela 2,...). O título da tabela deve ser colocado na parte superior da tabela, de maneira centralizada. Os títulos em cada coluna devem vir em negrito e as linhas daquela coluna em letra normal (sem negrito, itálico ou sublinhado). As tabelas não devem apresentar bordas laterais nem centrais, apenas entre as linhas do título (borda superior e inferior) e a última linha da tabela (parte inferior). A critério do autor pode haver divisões destacadas entre as linhas.

A

Tabela 1 é um exemplo de como deve ser apresentada a tabela.

Tabela 1 – Variação IGPM

Mês/Ano	%
07/2020	0,49
08/2020	0,53
09/2020	0,82
10/2020	0,65

Fonte: Calcular (2020).

As tabelas devem ter fundo branco. A principal diferença entre um quadro e uma tabela é o seu conteúdo: uma tabela contém números de alguma forma, e um quadro contém texto. O Quadro 1 mostra como um quadro deve ser apresentado. Os quadros devem também ter fundo branco. O título e a fonte devem seguir o exemplo mostrado.

Quadro 1 – Ciclo PDCA

ETAPAS	AÇÕES
P (PLAN)	Planejar o trabalho a ser realizado por meio de um plano de ação após a identificação, reconhecimento das características e descoberta das causas principais do problema (projeto da garantia da qualidade).
D (DO)	Realizar o trabalho planejado de acordo com o plano de ação (execução da garantia da qualidade, cumprimento dos padrões).
C (CHECK)	Medir ou avaliar o que foi feito, identificando a diferença entre o realizado e o que foi planejado no plano de ação (verificação do cumprimento dos padrões da qualidade).
A (ACT)	Atuar corretivamente sobre a diferença identificada (caso houver); caso contrário, haverá a padronização e a conclusão do plano (ações corretivas sobre os processos de planejamento, execução e auditoria; eliminação definitiva das causas, revisão das atividades e planejamento).

Fonte: Adaptado de Chiavenato (2004).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 EXEMPLO DE ILUSTRAÇÕES

Todas as tabelas, figuras e equações devem ser chamadas no texto e explicadas. As figuras, tabelas e equações devem ser apresentadas o mais próximo do ponto onde serão discutidas.

A Figura 1 mostra um muro de contenção de barragem de rejeitos de mineração.

Figura 1 – Muro de CONTENÇÃO



Fonte: Rodrigues (2021).

Após o anúncio e apresentação das tabelas, figuras e equações, suas chamadas ao longo do texto devem ser feitas com: Tab. 1, Fig. 1 e Eq.1. As figuras devem ter fundo branco, conforme exemplificado na Fig. 1.

4 CONCLUSÕES

As conclusões ou “considerações finais” é a parte final do artigo, na qual se apresentam as considerações correspondentes aos objetivos e/ou hipóteses. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018, p. 5).

5 AGRADECIMENTOS

É recomendável a inclusão de uma seção chamada Agradecimentos após a seção Conclusão. Ela deve ser breve, geralmente um único parágrafo, e conter os agradecimentos aos financiadores do projeto e da bolsa, assim como pessoas, laboratórios e instituições outras que também tenham colaborado com o trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6022**: informação e documentação: artigo em publicação periódica técnica e/ou científica: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

CALCULAR correção monetária IPC do IGP (FGV). [S.l.], 2020. Disponível em: <https://www.economicos.com.br/utilitarios/ipc-do-igp-fgv.php>. Acesso em: 13 nov. 2020.

CHIAVENATO, Idalberto. **Introdução à teoria geral da administração**. 3. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: Elsevier: Campus, 2004.

IBGE. **Sinopse do censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv49230.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2020.

MARQUES, Maria Beatriz. Gestão da informação em sistemas de informação complexos. **Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação e Biblioteconomia**, João Pessoa, v. 12, n. 2, p. 60-76, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/pbcib/article/view/35505>. Acesso em: 16 jun. 2021.

RODRIGUES, Léo. **Vale anuncia descaracterização da sexta estrutura de barragem**. 2021. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-07/vale-anuncia-descaracterizacao-da-sexta-estrutura-de-barragem>. Acesso em: 24 out. 2022.

APÊNDICE A – Título

[Inserir apêndice, se houver].

ANEXO A – Título (elemento opcional)

[Inserir anexo, se houver].