

Publicação da Associação Nacional de Entidades Promotoras de Empreendimentos Inovadores

locus científico

Volume 10 | Número 01 | Dezembro de 2025

ISSN 1981-6804

Inovação Aberta na Mineração: os desafios da
escalabilidade pós prova de conceito
no Mining Hub

Vinícius Bortolussi Roman, Guilherme Marinho
Elias Silva, Leandro Leitoguinho Rossi

Inovação aberta na mineração: os desafios da escalabilidade pós prova de conceito no Mining Hub

Vinícius Bortolussi Roman¹, Guilherme Marinho Elias Silva², Leandro Leitoguinho Rossi³

Resumo

A inovação aberta na mineração é uma tendência global e um importante mecanismo para que as empresas se mantenham competitivas e relevantes frente a um ambiente dinâmico e complexo. Neste contexto, o Mining Hub posiciona-se como um ator relevante, reunindo um ecossistema colaborativo que lidera a transformação cultural e impulsiona a inovação no setor mineral. Com pouco mais de 6 anos de existência, mais de 120 provas de conceito foram executadas no hub, porém a transição para escala ainda enfrenta gargalos determinantes. O presente artigo, por meio de um estudo de caso, analisa os principais desafios enfrentados pelas startups apoiadas pelo Mining Hub na escala de suas soluções e confronta as informações com a literatura, gerando importantes insights para profissionais do setor e pesquisadores.

Palavras-chave

Inovação, Mineração, Startups, Mining Hub, Escalabilidade.

Abstract

Open innovation in mining is a global trend and an important mechanism for companies to remain competitive and relevant in a dynamic and complex environment. In this context, the Mining Hub positions itself as a relevant player, bringing together a collaborative ecosystem that leads cultural transformation and drives innovation in the mining sector. In just over 6 years of existence, more than 120 proofs of concept have been executed at the hub, but the transition to scale still faces significant bottlenecks. This article, through a case study, analyzes the main challenges faced by startups supported by the Mining Hub in scaling their solutions and compares the information with literature, generating important insights for professionals in the sector and researchers.

Keywords

Innovation, Mining, Startups, Mining Hub, Scalability.

¹ Vinícius Bortolussi Roman, Neo Ventures. E-mail: vinicius@neoventures.global

² Guilherme Marinho Elias Silva, Neo Ventures. E-mail: guilherme.marinho@neoventures.global

³ Leandro Leitoguinho Rossi, Mining Hub. E-mail: leandro.rossi@mininghub.com.br

Introdução

Indústrias tradicionais e intensivas em recursos, como o de mineração, enfrentam um conjunto crescente de pressões contemporâneas que exigem uma reavaliação de suas abordagens operacionais e estratégicas. A necessidade intrínseca de melhorar a produtividade, aliada às preocupações ambientais crescentes e à urgência da descarbonização, demandam uma licença social para operar cada vez mais robusta.

Nesse contexto de transformação, a Inovação Aberta, ou *Open Innovation*, emerge como uma importante estratégia para as empresas tradicionais se manterem competitivas e relevantes. Cunhado por Henry Chesbrough, o conceito propõe que as empresas utilizem fluxos de conhecimento tanto internos quanto externos para acelerar a inovação interna e, respectivamente, expandir os mercados para o uso externo da inovação. Este modelo transcende as práticas tradicionais de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) fechada e interna, prezando pela colaboração com entidades externas, como startups, universidades, centros de pesquisa e até mesmo outras empresas, para gerar novos produtos, serviços e processos (Chesbrough, 2003).

A implementação da Inovação Aberta no setor de mineração é uma tendência global crescente, manifestada pelo aumento de iniciativas colaborativas e parcerias estratégicas para inovação. O recente relatório publicado pelo Fórum Econômico Mundial, intitulado *Nature Positive: Role of the Mining and Metals Sector*, evidencia que algumas mineradoras líderes, com a BHP e a Vale, criaram iniciativas para fomentar a inovação em parceria com startups, como o programa de aceleração Xplor da BHP e o programa de investimento semente Vale Ventures, focado em descarbonização e transição energética. Outras mineradoras também estão atuando de forma conjunta e com parceiros locais para solucionar desafios específicos de seus negócios, como ocorre no Mining Hub (WEF, 2015).

O presente artigo analisa o papel do Mining Hub como um valioso mecanismo para fomentar a inovação aberta no setor mineral, trazendo para discussão a importância da validação de Provas de Conceito (POCs) para demonstrar o potencial de uma inovação e os principais desafios para transição da fase de POC para a escala industrial.

Metodologia

O objetivo desta pesquisa é compreender, descrever e analisar os principais desafios para escalar soluções inovadoras desenvolvidas por startups em parceria com mineradoras. Para atingir esse objetivo, foi realizado um trabalho exploratório por meio de um estudo de caso junto ao Mining Hub, no qual foram coletados dados de 15 startups que desenvolveram POCs consideradas bem sucedidas nos programas do hub.

O estudo de caso foi escolhido como estratégia de pesquisa devido (i) à necessidade de estudar o fenômeno em seu contexto original; (ii) ao fato de os pesquisadores terem pouco

controle sobre os eventos investigados; e (iii) ao caráter exploratório da pesquisa, dada a natureza embrionária do objeto de pesquisa. Este último aspecto exige foco na descrição do fenômeno (ou seja, na identificação de elementos e eventos que expliquem a dificuldade de escalar soluções inovadoras no setor mineral e seu perímetro conceitual), antes de se aprofundar em questões como "como" e "por quê" (Yin, 2013).

Com base nos critérios definidos para o estudo de caso por Duarte e Barros (2006), este artigo utilizou informações disponíveis na internet, em artigos científicos e em entrevistas em profundidade. As entrevistas foram realizadas com os responsáveis legais das startups. A seleção foi baseada nos seguintes critérios: startups que participaram de programas de inovação aberta do Mining Hub, que tiveram suas POCs validadas junto a uma ou mais mineradoras e indicaram que realizaram projetos visando escalar a solução testada durante o projeto original. As variáveis analisadas incluem: recursos (humanos e financeiros) para implementação das POCs, critérios de acompanhamento dos projetos e mensuração de resultado, e encaminhamentos pós POC. Cada entrevista teve duração aproximada de uma hora e foi transcrita em um relatório e as informações foram validadas antes das análises e da elaboração do presente trabalho.

Para a análise dos dados qualitativos provenientes das entrevistas, foi empregada a técnica de análise de conteúdo temática proposta por Braun e Clark (2006). Inicialmente, as transcrições foram lidas de forma exaustiva para familiarização com os dados. Em seguida, foi realizado um processo de codificação aberta, onde trechos relevantes das falas dos entrevistados foram destacados e rotulados com códigos que representavam seu significado essencial. Estes códigos foram, então, agrupados em categorias temáticas emergentes, como 'Processos de Contratação', 'Cultura Organizacional' e 'Métricas de Sucesso'. A triangulação das interpretações entre os pesquisadores garantiu a consistência e a validade das categorias finais, que correspondem aos desafios para a escala apresentados na seção de Resultados.

Resultados

Do total de startups que desenvolveram POCs no Mining Hub, 15 delas participaram da presente pesquisa, o que corresponde a 30% da amostragem total. As inovações desenvolvidas por estas startups eram diversas: plataformas de software para gestão de segurança, descarbonização e gestão hídrica; desenvolvimento de hardware, como sistemas de detecção de rasgos em correias e equipamentos para gestão de pilhas; realidade virtual para treinamento; reaproveitamento de rejeitos para construção civil; e monitoramento ambiental com mapas acústicos.

Em relação às entrevistas realizadas, os resultados quantitativos apresentados na Tabela 1 merecem destaque:

Tabela 1 - Distribuição percentual da duração das negociações pós POC e do prazo para escalar as soluções (2025).

Item/Período	Menor que 6 meses	De 6 a 12 meses	De 12 a 24 meses	Superior a 24 meses
Duração das negociações pós POC	26,7%	20,0%	33,3%	20,0%
Prazo para escalar as soluções	15,4%	30,8%	46,2%	7,6%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação aos indicadores de viabilidade aplicados para mensurar o impacto das soluções, em 40% dos casos estão relacionados a critérios de sustentabilidade (ESG) e em 60% dos casos relacionados a critérios técnicos, econômicos e financeiros. Destaca-se ainda que cerca de 12% de todas as POCs realizadas no hub geraram contratos pós POC até a data das entrevistas.

Considerando os resultados qualitativos, os seguintes desafios para escala de soluções foram apontados nas entrevistas:

- Dificuldade na transição entre a equipe que acompanha as POCs (área técnica e de inovação) para a equipe que irá decidir em relação à escala e contratação (área de suprimentos, engenharia e operação);
- A contratação pós POC é tratada no processo normal de suprimentos, com exigências burocráticas rígidas, tratando startups como fornecedores tradicionais;
- Ciclos orçamentários anuais fazem com que as janelas de oportunidade para contratações sejam espaçadas, causando a perda de timing de implementação;
- O investimento para desenvolvimento de uma POC é muito menor que para a escala, tornando as aprovações complexas mesmo diante de um resultado relevante do experimento;
- Dificuldade em metrificar os resultados e em gerar indicadores técnicos, financeiros e de sustentabilidade ao final da POC prejudicam a continuidade dos projetos;
- A POC, em alguns casos, não gera impacto na métrica chave do desafio apresentado, mas sim, na validação técnica da solução que irá permitir que ela seja aplicada e seus benefícios quantificados, o que dificulta as negociações de continuidade do projeto;
- As startups enfrentam dificuldades em relação à precificação da solução a nível comercial de escala, com discussões extensas sobre escopo de projeto, envolvendo diferentes stakeholders dentro da contratante.

No próximo tópico estes resultados serão explorados e confrontados com estudos anteriores, de maneira a gerar informações relevantes e orientar pesquisas futuras.

Discussão

O Mining Hub como orquestrador da inovação na mineração

Uma das tendências recentes quando se fala em inovação aberta é a criação de hubs (ou centros) de inovação. De forma resumida, um hub consiste em uma comunidade social, ou espaços de trabalho ou centros de pesquisa que fornecem conhecimento específico sobre tendências tecnológicas, desenvolvimento de inovações e insights específicos de uma determinada área. Esses centros permitem a transferência ativa de conhecimento entre os atores do sistema de inovação e o objetivo de todos é criar um ambiente de trabalho motivador, onde os atores possam aprender uns com os outros, fazer conexões, desenvolver novas habilidades e se inspirar para alcançar o próximo nível (Greenwald, Michelle, 2018).

O Mining Hub se destaca como o primeiro hub de inovação aberta do mundo dedicado especificamente ao setor mineral. Sua missão é atuar como um ecossistema colaborativo que lidera a transformação cultural e impulsiona a inovação no setor mineral. Com cerca de 50 grandes empresas associadas, mais de 1000 desafios mapeados em temáticas estratégicas do setor, mais de 1600 startups inscritas nos diversos programas e mais de 120 provas de conceito (POCs) implementadas em pouco mais de 6 anos de existência, o hub demonstra sua relevância no ecossistema de inovação nacional e internacional.

O Hub também tem um papel essencial no impulsionamento de startups com soluções aplicadas ao setor mineral e no aumento da intensidade de investimento em inovação (IBRAM, 2022). Em parceria com o GT Inovação do IBRAM, o hub tem fomentado ações estratégicas, como a definição do conceito de *Mining Techs* e o estabelecimento de metas ambiciosas para o crescimento do ecossistema de startups e para o aumento da intensidade de investimento em P&D no setor. Notavelmente, a meta de mapear 334 startups até 2025 foi superada já em 2023, com 484 empresas mapeadas (IBRAM, 2023).

Em relação a meta de intensidade de investimento em P&D, apesar de o setor de Mineração e Metais ter alcançado a liderança em inovação aberta no Brasil, com investimentos próximos a R\$1,2 bilhão em parcerias com startups, o resultado do levantamento do indicador obtido em 2023 aponta um pequeno recuo em relação ao ano anterior e demonstra o quanto desafiador é a meta (aumentar de 0,26% em 2022 para 0,40% até 2030), uma vez que o cálculo é feito a partir da média simples das mineradoras e não se considera o peso de empresas que investem mais em inovação (IBRAM, 2023).

Assim, a atuação do Mining Hub transcende a simples função de conexão que é praticada na maioria dos hubs de inovação aberta de nosso país. A diversidade e complementaridade de seus programas, o foco em desafios temáticos específicos definidos a partir das necessidades da indústria e o engajamento ativo com um espectro amplo de atores do ecossistema, incluindo fornecedores, academia e parceiros institucionais, indicam um papel mais profundo e estratégico: o de um orquestrador do ecossistema de inovação.

Neste contexto, o hub não apenas conecta partes, mas ativamente molda a agenda de inovação, constrói capacidades, gerencia um pipeline de inovação através de diferentes

níveis de maturidade e busca cultivar uma cultura de inovação sustentada no setor. Trata-se de um trabalho nobre, mas árduo, uma vez que o hub precisa demandar mais das mineradoras do que ser demandado, e muitas das vezes os pontos focais designados não possuem a prontidão requerida para se beneficiar das ações propostas. Essa função de orquestração ativa, com programas desenhados para cada fase do desenvolvimento da inovação, representa um grande diferencial para impulsionar mudanças significativas e sistêmicas em um setor com as características da mineração.

Provas de Conceito (POCs) no ecossistema do Mining Hub

No processo de inovação, as POCs desempenham um papel crítico, permitindo validar ideias em um estágio inicial de maneira que as organizações testem hipóteses com um investimento controlado e um período de dedicação ágil. Isso reduz significativamente os riscos financeiros e operacionais associados ao desenvolvimento e lançamento de soluções que podem não atender às expectativas ou necessidades da empresa.

No contexto da colaboração entre grandes corporações e startups, especialmente facilitada por hubs de inovação como o Mining Hub, a POC assume uma função estratégica particular. Para a corporação, a POC representa um experimento de baixo risco e escopo definido para avaliar se a solução inovadora de uma startup pode, de fato, endereçar um desafio de negócio específico em seu ambiente operacional. Para a startup, é uma oportunidade crucial de demonstrar o valor de sua tecnologia em um cenário real, obter feedback valioso de um cliente potencial e entender melhor as complexidades e exigências do ambiente corporativo. Além da validação técnica, a POC facilita a construção de um relacionamento de trabalho e confiança entre as partes, ajudando a definir o escopo e os requisitos para uma possível colaboração futura em maior escala.

Este modelo específico praticado pelo Mining Hub pode ser considerado uma iniciativa de Venture Client, no qual as mineradoras fomentam as inovações propostas pelas startups, validando soluções relevantes para desafios do negócio sem tornar as startups menos flexíveis e sem exigir participação no seu capital social (Roman et al. 2018).

A observação de que um número considerável de POCs é realizado no contexto do Mining Hub mas um número menor resulta em contratos pós-POC, instiga a pesquisa para entendimento dos fatores críticos de sucesso para escala de soluções e como os gestores podem otimizar o funil de inovação.

Os desafios para escala de soluções Pós-POC na mineração

A validação bem-sucedida de uma POC marca um feito importante, demonstrando o potencial técnico de uma inovação. No entanto, representa apenas o início de uma jornada muito mais árdua e complexa: a escalabilidade industrial. A transição de uma POC funcional, muitas vezes realizada em ambiente controlado ou em escala limitada, para uma solução

robusta, confiável e economicamente viável, implementada em larga escala nas operações de mineração, é o ponto onde muitas inovações promissoras enfrentam seus maiores desafios e, frequentemente, falham.

Diferentes autores reforçam este entendimento. Chesbrough (2003), por exemplo, aponta que o fracasso em escalar inovações frequentemente ocorre não por falta de boas ideias, mas por ausência de modelos e incentivos claros para absorção pós-POC. Este gap entre as tecnologias/soluções que foram validadas, mas ainda não conseguem demonstrar tração de mercado ou justificativa para investimento adicionais é conhecida como Vale da Morte (Auerswald; Branscomb, 2003).

É importante destacar, ainda, que a complexidade para transpor o Vale da Morte diferem de setor para setor. Na indústria de software, por exemplo, os desafios para escalabilidade tendem a estar mais relacionados com a arquitetura digital e capacidade de servidores com baixo custo marginal (Eisenmann et. al, 2011). Setores altamente regulados, como o de saúde, exigem aprovações em órgãos como a Agência Nacional de Vigilância Sanitária no Brasil (Murphy; Edwards, 2020). O setor mineral, por sua vez, enfrenta uma complexidade distinta: severidade dos ambientes operacionais, regulamentação eseguranças rígidas, integração e interoperabilidade complexas, confiabilidade e manutenção críticas, intensidade alta de capital, entre outros fatores.

Os resultados da presente pesquisa demonstram, conforme Tabela 1, que a duração das negociações pós-POC é extensa, com mais de 53% dos casos levando mais de 12 meses para avançar, e o prazo para escalar soluções ainda mais dilatado, refletindo a complexidade e lentidão inerentes a esse processo. Além disso, os indicadores de viabilidade aplicados às soluções revelam a importância crescente dos critérios ESG, presentes em 40% dos casos, alinhando-se às tendências globais do setor mineral, como ressaltam estudos recentes da McKinsey (2024). A ênfase em aspectos técnicos, financeiros e econômicos em 60% dos casos também reforça o tradicional foco da mineração na eficiência operacional e retorno sobre o investimento, conforme relatado por Kumar et al. (2022).

Os desafios qualitativos identificados, tais como a transição dificultada entre equipes técnicas e decisórias, rotatividade de interlocutores, rigidez burocrática nos processos de contratação e dificuldade em metrificar resultados, são corroborados por estudos que destacam as barreiras organizacionais e culturais à inovação em setores industriais tradicionais (Dutra et al., 2020; Binner et al., 2023; Chesbrough, 2006).

Os dados coletados até o momento pelo Mining Hub demonstram ainda o potencial de aumentar a taxa de continuidade de projetos pós-POC, reforçando o entendimento de que a simples prova de conceito não assegura a escalabilidade da solução, conforme aponta Markham (2002). Reconhecendo a escalabilidade como gargalo crítico e tendo consciência que o suporte precisa ir além da POC, o próprio Mining Hub desenvolveu uma iniciativa específica, denominada M-Scale, para apoiar as startups e as mineradoras nesta transição de

fase. O piloto do M-Scale deve iniciar ainda em 2025 e será um importante marco para superar o vale da morte no setor mineral, servindo ainda de benchmarking para outras indústrias.

Recomendações para superar os gargalos da escalabilidade

Com base nos desafios identificados e alinhado às melhores práticas de inovação aberta, é possível delinear recomendações práticas para os atores do ecossistema. O Mining Hub, como orquestrador, pode desenvolver um guia prático para startups e mineradoras, com diretrizes claras para a transição pós-POC, incluindo *templates* de planos de negócio, *check list* de atividades e boas práticas de colaboração empresa-startups. Adicionalmente, o Hub deve fortalecer a iniciativa M-Scale, atuando com um facilitador para construção de projetos robustos no setor e compartilhando as boas práticas com o ecossistema.

As mineradoras, por sua vez, devem desenvolver um processo de suprimentos simplificado e acelerado para as startups que concluíram uma POC com sucesso, tratando-as como um fornecedor estratégico, reconhecendo sua agilidade e natureza inovadora. De maneira complementar é importante que os desafios a serem solucionados pelas mineradoras estejam alinhados com a estratégia do negócio e já nasçam com um *sponsor* da área demandante, com um pré-alinhamento do orçamento para a fase de escala, evitando a morosidade dos ciclos anuais orçamentário e/ou despriorização ao longo de sua implementação.

Já as startups, durante a POC, não devem se limitar a validar a tecnologia. É crucial coletar dados que permitam construir uma projeção clara do Retorno sobre o Investimento (ROI) e do impacto em ESG quando a solução for implementada em larga escala. Adicionalmente os empreendedores devem entender a estrutura decisória da mineradora e envolver os atores chave em demonstrações e relatórios de progresso para fortalecer a entrega de valor que está sendo feita.

Conclusão

Embora as POCs sejam essenciais para demonstrar o potencial técnico de uma inovação, é a capacidade de escalar essa inovação com sucesso que determina seu valor tangível e transformador para a indústria de mineração, um setor intensivo em capital que opera em larga escala e sob condições exigentes.

A taxa de conversão de POC para escala pode servir como um indicador crítico da eficácia geral de um ecossistema de Inovação Aberta, como o Mining Hub, e da sua capacidade de superar o desafio da escalabilidade. Uma taxa de conversão consistentemente baixa pode sinalizar problemas subjacentes que podem compor hipóteses para estudos futuros, tais como: talvez os desafios selecionados para as POCs não estejam estrategicamente alinhados com as prioridades de implementação das mineradoras; talvez as soluções validadas

enfrentam barreiras de escalabilidade técnica ou econômica intransponíveis no ambiente real da mina; talvez falte suporte adequado durante o funil de inovação, incluindo a fase de transição pós-POC; ou a própria seleção inicial de startups/soluções para POC precisa ser aprimorada com foco na escalabilidade futura.

Os dados preliminares coletados no presente estudo fornecem indícios e sugerem que a transição pós-POC é, de fato, um filtro severo no Mining Hub, reforçando a importância da escalabilidade. Benchmarks robustos e publicamente disponíveis para hubs de inovação na mineração e indústrias tradicionais, no entanto, ainda são escassos e não permitem uma análise comparativa, sendo um importante objeto de estudo futuro.

A criação de programas dedicados para a escalabilidade, como o M-Scale, indica que o principal obstáculo para a realização do valor da Inovação Aberta pode não residir na geração de ideias ou na validação inicial (POC), mas sim no complexo e arriscado processo de integração industrial e adoção em larga escala. Portanto, a superação da barreira da escalabilidade é o teste decisivo para o sucesso das iniciativas de inovação aberta.

O verdadeiro ROI da Inovação Aberta na mineração depende crucialmente da capacidade do ecossistema, orquestrado por entidades como o Mining Hub, de levar soluções validadas da POC à implementação industrial efetiva e sustentável.

Espera-se que este trabalho contribua tanto para o conhecimento acadêmico, aprofundando práticas de inovação aberta em hubs de inovação e gerando insights sobre os desafios de escala de soluções, quanto para a prática da gestão da inovação, fornecendo recomendações para aumentar as taxas de conversão pós-POC com foco em superar o vale da morte da inovação.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), através do Projeto Mining Hub – Edital 008/2021 – Programa de Apoio aos Ambientes Promotores de Inovação.

Referências

AUERSWALD, Philip E.; BRANSCOMB, Lewis M. Valleys of Death and Darwinian Seas: Financing the Invention to Innovation Transition in the United States. *The Journal of Technology Transfer*, v. 28, n. 3-4, p. 227-239, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1024980525836>.

BINNER, João et al. Barriers to Innovation Adoption in Mining: A Review of Organizational and Market Challenges. *Journal of Mining Innovation*, v. 7, n. 1, p. 45-60, 2023.

BRAUN, V.; CLARKE, V. Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, v. 3, n. 2. p. 77-101. 2006.

CHESBROUGH, Henry William. *Open innovation: the new imperative for creating and profiting from technology*. Boston: Harvard Business Press, 2003.

DUARTE, Jorge; BARROS, Ana Tereza. *Métodos e técnicas de pesquisa em comunicação*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

DUTRA, Felipe; SILVA, Mariana; SANTOS, Ricardo. Innovation Management in Mining Companies: Challenges and Practices. *Resources Policy*, v. 67, 2020.

EISENMANN, T., PARKER, G., & VAN ALSTYNE, M. W. Platform envelopment. *Strategic Management Journal*, v. 32, n. 12, p. 1270-1285, 2011.

GREENWALD, Michelle. A new wave of innovation hubs sweeping the world. *Forbes Online*, 2 abr. 2018. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/michellegreenwald/2018/04/02/a-new-wave-of-innovation-hubs-sweeping-the-world/#300d59a41265>. Acesso em: 28 abr. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. *E-book GT Inovação IBRAM: Inovação do Setor Mineral*. 2. ed. 2023. Disponível em: <https://conteudo.mininghub.com.br/ebooks-para-download>. Acesso em: 10 mar. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. *Inovação no setor da Mineração: GT Inovação – IBRAM*. 2022. Disponível em: <https://conteudo.mininghub.com.br/ebooks-para-download>. Acesso em: 10 mar. 2024.

KUMAR, Anil et al. Measuring the Impact of Innovation in Mining: Technical and Financial Metrics. *International Journal of Mining Science and Technology*, v. 32, n. 4, p. 515–523, 2022.

MARKHAM, Shawna K. Moving Technologies from Lab to Market. *Research Technology Management*, v. 45, n. 6, p. 37–45, 2002.

McKINSEY & COMPANY. *Mining and metals: how ESG is reshaping the industry*. 2024.

MURPHY, K. K., & EDWARDS, K. A. Bridging the valley of death: A multi-case study of overcoming the primary commercialization barrier in the medical device sector. *Technology Analysis & Strategic Management*, v. 32, n. 1, p. 77-91, 2020.

ROMAN, Vinícius Bortolussi et al. Venture Client: Analysis of the mining lab program. In: *TOWARDS SUSTAINABLE TECHNOLOGIES AND INNOVATION – Proceedings of the 27th Annual*

Conference of the International Association for Management of Technology (IAMOT), 2018. p. 1-14.

WORLD ECONOMIC FORUM. *Nature positive: Role of the mining and metals sector.* 2025. Disponível em: https://reports.weforum.org/docs/WEF_Nature_Positive_Role_of_the_Mining_and_Metals_Sector.pdf. Acesso em: 21 maio 2025.

YIN, Robert K. *Case study research: design and methods.* Thousand Oaks: Sage Publications, 2013.