**PMI5027 A Sustentabilidade nas Indústrias Extrativas**

**Incorporações de sustentabilidade na geração de novos projetos mineiros através da implementação de tecnologias modernas, eficientes e de baixo impacto ambiental.**

Artur D. Alves.1; Jonathan T. Vinhal1

1Doutorando em Engenharia Mineral, EP-USP. 1Mestrando em Engenharia Química, EP-USP

**Resumo**

Com a crescente demanda por recursos não renováveis, as indústrias mineradoras passaram a produzir mais e ao mesmo tempo, se adaptar às rápidas transformações sócio-ambientais ocorridas na sociedade. Pressionadas a adotar o conceito de sustentabilidade em suas operações, elas vêm na inovação e a tecnologia, ferramentas que possibilitam atender a essas exigências. O objetivo desse estudo é analisar exemplos do emprego de inovações e tecnologias nos processos produtivos de mineradoras e entender o quanto elas impactam para tornar essa empresas mais sustentáveis, visando seus efeitos positivos em termos econômico, social e ambiental. Para isso foram avaliados: a implantação de um sistema de correia transportadora de longa distância em mina de ferro; o uso da energia solar em uma mina de ouro, e o estudo do uso do rejeito de minério de ferro como matéria prima para produção de tintas. Nos três casos observou-se que o principal motivador para tais decisões foi a redução de custos. Contudo, essas medidas ocasionaram, também, efeitos positivos em termos sociais e ambientais. Ou seja, iniciativas tecnológicas podem gerar maior renda a um custo ambiental menor, permitindo um maior retorno para a sociedade dentro de um conceito de desenvolvimento sustentável.

**Palavras chave:** Mineração; Indústrias Extrativas; Tecnologias; Sustentabilidade.

**Abstract**

Due to the growing demand for non-renewable resources, the mining industries have increased their production, at the same time, they have adapted to the rapid socio-environmental changes that took place in society. Under pressure, these companies need to include the concept of sustainability in their processes. Innovation and technology are tools that enable them to meet these requirements. The main objective of this study is to analyze the innovations and technologies applied in mining processes and to understand the influence that makes such processes sustainable aiming at positive effects - economic, social and environmental. Therefore, we evaluated: the implantation of a system of long-distance conveyor belt in iron mine; the use of solar energy in a gold mine; and also the study of using iron ore tailings as raw material for paints production. In all three cases, it was observed that the main motivator for such decisions was cost reduction. However, these measures had also positive social and environmental effects. That means, technological initiatives can generate higher income at a lower environmental cost, providing a greater return to society within a concept of sustainable development.

1. **Introdução**

Embora o termo desenvolvimento sustentável tenha surgido inicialmente no relatório Brundtland em 1987, o conceito mais amplo que engloba as esferas ambiental, econômica e social foi definido na Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992 (RIO92). Já o termo mineração sustentável foi introduzido mais tarde pela Iniciativa Global de Mineração em 1998, e adotado na Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável em 2002 (Aznar-Sánchez et al., 2019).

Segundo Azapagic (2004) o desenvolvimento sustentável é um desafio no setor industrial, e para a mineração não é diferente. Numa sociedade em desenvolvimento é comum o aumento da demanda por produtos que atendam as suas necessidades. Para isso são necessárias matérias primas, muitas das quais não renováveis e, sua obtenção e manuseio, são os processos com maior potencial de impacto socioambiental.

Assim como o termo mineração sustentável é novo, há apenas poucas décadas, a principal preocupação das indústrias extrativas era a redução de custos a fim de obter maiores lucros. Hoje, as exigências sociais têm pressionado o setor a tomar medidas para minimizar os impactos negativos e incorporar medidas sustentáveis aos processos extrativos (Morris Bakken, 2007). Portanto, atualmente existe demanda para que as indústrias extrativas se desenvolvam, fazendo com que a competitividade do setor passe pelo processo de PD&I (Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação), permitindo criar novos conceitos de produção e tecnologias, com geração de padrões de gestão voltados à excelência e sustentabilidade. Ao final desse processo a indústria se torna cada vez mais competitiva a ponto da produtividade aumentar justamente pela implementação de novas tecnologias e de mão de obra mais eficiente (Helder et al., 2015).

Upstil, & Hall (2006) consideram a indústria extrativa de baixa tecnologia e inovação, baseado no grau de investimento em pesquisa e desenvolvimento em porcentagem do volume de negócios da empresa, enquanto TIDD e Bessant (2008) propõem que o investimento em inovações pode renovar produtos e melhorar serviços que as indústrias oferecem ao mercado, alterando os processos produtivos e obtendo benefícios econômicos, ambientais e sociais.

Para que o desenvolvimento sustentável seja empregado dentro do setor das indústrias extrativas, é necessário que haja implementações de caráter econômico e parte dos lucros seja revertido em projetos voltados para o desenvolvimento das comunidades de maneira a assegurar um apoio econômico de longo prazo após o fechamento da mina, e que tenha caráter ambiental, objetivando mitigar os impactos da exploração ao meio físico e reabilitar as áreas impactadas de maneira a garantir seu uso subseqüente pelas gerações mais novas. Para garantir a transparência desse processo e diminuir os impactos socioculturais, é essencial a participação pública na tomada de decisões, através de diálogos e audiências públicas (Jenkins and Yakovleva, 2005).

1. **Inovação, tecnologia e sustentabilidade**

O conceito de sustentabilidade engloba os aspectos ambiental, econômico e social e para alcançá-lo é preciso preservar os processos ecológicos necessários para o desenvolvimento das funções básicas dos ecossistemas. Isso resulta em: aumentar as receitas a partir de desenvolvimento economicamente viável, com base nos recursos disponíveis e; promover acordo entre as parte interessadas, gerando benefícios sociais e distribuição mais igualitária (Aznar-Sánchez et al., 2019). Além disso a busca pela sustentabilidade deve considerar relação entre seus pilares conceituais sejam esses quantos e quais forem, de maneira a obter ganhos em todas as frentes possíveis, considerando o bem-estar humano e ecológico como efetivamente interdependentes (Gibson, 2006)

 Apesar da discussão sobre a natureza dos temas que sustentam o conceito de sustentabilidade, e das inúmeras iniciativas adotadas na indústria nas últimas décadas, a percepção pública sobre a atividade mineira ainda é negativa (Fonseca et. al., 2013), principalmente com relação ao meio ambiente, de maneira que podemos dividi-los em duas partes. A primeira refere-se às questões de instalação física do empreendimento com destruição da área de superfície e escassez de recursos como água além do consumo de energia. A segunda parte está voltada para a geração de resíduos sólidos e líquido, ruídos e impactos muitas vezes irreversíveis no ar, solo e água provenientes também das atividades mineradoras (Bai et al., 2017)

Conhecendo os efeitos negativos ocasionados pela indústria extrativa tem-se a inovação e tecnologia como aliadas para enfrentar os desafios e contribuir para que a sustentabilidade seja alcançada, auxiliando tanto em relação ao esgotamento dos recursos, quanto o dimensionamento socioeconômico e ambientail (Tilton and Guzmán, 2016).

Mesmo considerado de baixa inovação e tecnologia, já existem avanços no setor extrativo em muitos países. Através de investimentos em PD&I o retorno financeiro ocorre através da redução de custos e ganhos de eficiência de processos, e repercussão positiva nas esferas ambiental e social. Despontam nesse aspecto países como Suécia e Finlândia com avanços no planejamento de lavra de larga escala, com uso de modernos e automatizados equipamentos de perfuração, amostragem, carregamento e transporte. Nos EUA, minas a céu aberto de grande e médio porte, já utilizam equipamentos nas operações de carregamento e transporte voltados para produção em larga escala, equipamentos de perfuração com furos de grande diâmetro, veículos com controle de *blends* de explosivos e sistema de bombeamento inteligente, e gerenciamento on-line das operações com GPS integrado aos equipamentos para controle de viagens e maximização de uso dos equipamentos da mina (Koppe, 2007). No Brasil, projetos em diferentes minas de carvão no Rio Grande do Sul avaliam o uso do método *backfilling*, onde os realces lavrados são preenchidos por uma mistura de até 6% de cimento com rejeito da planta de beneficiamento e estéril franco (Rede Carvão, 2010).

Na pesquisa, inovação e tecnologia permitem identificar e explorar depósitos que antes eram considerados indisponíveis, elevar a eficiência da produção, melhorar o tratamento de minerais e seus derivados, diminuir da necessidade de recursos em processos, e também possibilitar a reciclagem de resíduos (Tilton, 2002). Na área de produção eles proporcionam respostas rápidas e dados em tempo real sobre pessoas, maquinários, energia e recursos (Ge et al., 2018).

Tendo em vista tornar o setor de mineração sustentável, um modelo de ciclo de vida para uma mina foi desenvolvido por Van Zyl (2007), o qual baseou em diferentes etapas da mineração durante a investigação, exploração e fechamento da mina. Hoje é sabido que o estudo do ciclo de vida das minas é fundamental por possibilitar a identificação das relações de cada etapa da atividade econômica com o meio ambiente, a economia e as dimensões sociais de sustentabilidade.

Kemp e Pearson (2007), defendem o termo ecoinovação como o desempenho de ações em favor do meio ambiente, com metas ambientais estabelecidas por empresas. Objetivos e intenções corporativas não são o foco quando se fala em ecoinovação, sendo os seus ganhos os resultados ambientais positivos alcançados. No Measuring Eco-Innovation report, os autores propõe que a inovação favorável ao meio ambiente seja classificada em: Inovação organizacional para o meio ambiente, com proposta de novos métodos e sistema de gestão ambiental; tecnologias ambientais, voltadas para tratamento de água e resíduos, produção limpa, e monitoramento ambiental; inovação de serviços e produtos visando benefícios ambientais; e Inovação de sistemas alternativos de produção, consumo e novos materiais, conhecido como sistema verde.

Outra temática com a qual o setor de pesquisa na mineração é remediação e reciclagem de resíduos, e uso alternativo de áreas de mineração. Além desses, métodos biotecnológicos e microbiológicos, biorremediação de algas e fito-remediação também se apresentam como foco de pesquisas atuais. Voltados para diretrizes de protocolos ecológicos existem os estudos que visam a redução da poluição na água, como por exemplo, adição de sedimentos com nutrientes para reduzir a acidez, e sistemas de armazenamento. Para os resíduos provenientes dos processos extrativos em mineradoras tem-se a aplicação desses no setor de construção, através da sua transformação em materiais de construção, o que faz da reciclagem uma possibilidade para processos mais sustentáveis. Além desses, existem ainda estudos para produzir eletricidade com o uso de materiais e gases (Aznar-Sánchez et al., 2019).

1. **Metodologia**

O estudo baseou-se em identificar nas inovações tecnologicas empregadas no setor de mineração, os efeitos ocasionados nos tripés da sustentabilidade: economia, sociedade e meio ambiente. Para isso foram selecionados e avaliados a implantação de correia transportadora numa mina de ferro da VALE, em Carajás; o uso de energia solar numa mina de ouro da B2Gold, na Namíbia, e um estudo do uso do rejeito de minério de ferro como pigmentos para produção de tintas.

**3.1– Sistema de correias transportadoras de longa distância**

A atual competitividade global observada no mercado de minério de ferro foi resultado do aumento da demanda pela commodite na China. Nos últimos anos o país mostrou forte e consistente crescimento de sua economia, refletindo no consumo de mais da metade de todo o minério de ferro produzido no mundo.

Atenta a esse cenário a empresa VALE implantou o Sistema TRUCKLESS na mina de ferro S11D, com o objetivo de reduzir seus custos e tornar-se mais competitiva no mercado. Essa tecnologia já é usada em diversas minas no mundo, se mostrando eficaz e de baixo custo operacional, principalmente no transporte do Run Of Mine (ROM) de diferentes tipos de minérios a distâncias de transporte variadas (Ribeiro, 2013). No caso da VALE, o sistema completo é composto por britadores móveis, alimentados por escavadeiras, interligados a um sistema formado por 30 quilômetros de correias transportadoras, que levam o ROM até a usina de processamento, localizada fora da Floresta Nacional de Carajás (FLONACA).

Considerado um dos maiores projetos de mineração do mundo o Complexo S11 está localizado na parte sul da FLONACA e apresenta recursos de 10 bilhões de toneladas de minério de ferro sendo que apenas o bloco D, tem reservas cubadas em 2.78 bilhões de toneladas. As características físicas e químicas do minério foram fundamentais para o sucesso do projeto viabilizando sua lavra e transporte do minério sem maiores pré-processamentos, e a não utilização de água no processo de beneficiamento. Sua concepção diferenciada fez com que as operações da Vale dentro da unidade de conservação impactassem apenas 3% da área da floresta, o que representa aproximadamente 4.120 km2. (VALE, 2012).

**3.2 – Uso de energia solar na indústria de mineração**

A B2Gold, empresa canadense com sede em Vancouver, desenvolveu e implementou a mina de Otjikoto, prospecto de ouro localizada na região centro-norte da Namíbia, a 280Km da capital Windhoek. Em 2013 as reservas estimadas eram da ordem de 29 Milhões de toneladas com teor de 1.42g/ton e vida útil de 10 anos. Ao entrar em operação em 2014, seu consumo de energia provinha de uma usina com capacidade de geração de 24Mw baseada no consumo de óleo combustível pesado (BR2GOLD, 2014).

Sujeita às freqüentes oscilações nos preços dos combustíveis, importado da África do Sul, a companhia viu nas elevadas taxas de incidência solar do país a possibilidade de construção de uma usina solar. A viabilidade do projeto poderia reduzir sua dependência do uso de combustíveis fósseis além de melhorar sua relação com a sociedade local.

O sistema adotado foi o modelo híbrido, unindo o sistema convencional existente com o outro solar onde à partir das unidades de captação solar, a energia é transmitida para a usina de Otjikoto por uma linha de 3.5 km de comprimento, até uma central projetada para integrar os dois sistemas e controlar a entrada do fluxo de energia.

**3.3 – Reuso de rejeito de minério de ferro de barragens para a produção de tintas.**

Galvão (2018) estudou o reuso do rejeito de minério de ferro (RMF) de barragem de rejeitos como pigmento para produção de tintas. Ele afirma que, em função do aumento da demanda, houve o crescimento da atividade de exploração do minério de ferro, ocasionado um crescimento no tamanho e número de barragens de rejeitos por conta da maior geração de resíduos. Além da ampliação e criação de novas barragens, há ainda a sobrecarga daquelas existentes, aumentando os riscos e as atividades de manutenção requeridas para essas estruturas.

Conhecendo o problema, o autor propõe a utilização do RMF como matéria prima a ser utilizada na construção civil. Como o rejeito é composto majoritariamente de oxido de ferro, sílica, alumina, seu uso não apresenta perigos ou toxicidade característicos. Devido ainda, à sua estabilidade diante os agentes intempéricos, os óxidos de ferro quando calcinados podem ser utilizados como pigmentos para tintas, plásticos, papéis e cerâmicas. Outros estudos sugerem a utilização do RMF e resíduos de mármore como fontes para pigmentos branco usados na produção de telhas de cimento e também, o uso da pigmentação proveniente do óxido de ferro na indústria cerâmica.

A idéia do uso do RMF como base para pigmentos é consolidada com a produção das tintas que usam a água como solvente. A vantagem da utilização de pigmentos inorgânicos é que eles são estáveis ao calor e luz, e possuem durabilidade devido à alta resistência a temperatura, às intempéries à degradação por raios UV e aos ácidos e bases naturais. Tais características garantem a coloração por mais tempo não havendo desbotamentos ou escurecimentos, indesejáveis no mercado comercial de tintas, sendo também, mais baratos quando comparados com aos pigmentos orgânicos. Outros ensaios foram realizados na produção de tintas, com misturas de RMF e água, e quatro diferentes tipos de aglutinantes: resina de acetato de polivinila (PVA), resina acrílica, cal hidratada e cimento Portland.

1. **Resultados e Discussão**

Nos últimos anos embora tenha havido recuperação das reservas em conjunto com o aumento da escala de produção, os recursos naturais ainda não são renováveis e cada vez mais sua exploração é dependente das características de ocorrência e localização da mineralização, e tipo de tecnologia empregada para sua extração e aproveitamento. Com exceção dos depósitos centenários ou de classe mundial, são observados cada vez mais, novos depósitos de menor tamanho e/ou menor concentração, ou ainda, localizado em áreas remotas ou há grandes profundidades, aumentando custos de produção e de implementação de processos. Além disso, depósitos francamente explorados ao longo dos anos já se encontram esgotados ou com significativa redução de seus teores médios. A manutenção da oferta por produções cada vez maiores obriga a indústria extrativa a investir em melhorias dos seus processos, extrapolando suas capacidades produtivas e barreiras tecnológica e de inovação.

As opções de mitigação dessa condição são as soluções tecnológicas e de inovação adotadas por empresas que conseguiram contornar problemas e viabilizar seus projetos agregando benefícios sociais e ambientais. Os estudos de caso apresentados nesse artigo demonstram que, o uso da tecnologia, de soluções inovadoras e estudos técnicos bem conduzidos permitem, de maneiras diferentes, alcançar resultados que permeiam os objetivos de iniciativas de sustentabilidade propostos para o setor mineral.

**4.1– Sistema de correias transportadoras de longa distância.**

 O caso do depósito S11D pode ser enquadrado no tipo do projeto com forte impacto ao meio ambiente. Localizado dentro de uma reserva ambiental, muito afastado das outras minas e estruturas da VALE, a construção de um novo pólo minerador causaria grande impacto ambiental devido ás interferências físicas de implantação da usina de beneficiamento, das pilhas de estéril e barragens de rejeito. Muito além dos limites legais do empreendimento, o tipo e porte de um projeto como esse têm impactos que ultrapassam aqueles previstos nos estudos exigidos pelos órgãos ambientais e, como afirmou Sonter, et., al. (2017), a mineração tem o poder de levar o desmatamento na floresta tropical dentro e fora dos limites legais do empreendimento.

 Entretanto, as características de homogeneidade física e pureza do minério contribuíram para adoção de um sistema eficiente de beneficiamento a seco que representou uma economia de 93% do uso de água e impacto mínimo de geração de rejeito. Segundo UNEP, 2011 a cada dia a água está se torna mais escassa e a água doce atualmente disponível supre apenas cerca de 60% da demanda mundial num cenário de 20 anos. Uma boa parte das reservas de água doce encontra-se nas grandes florestas tropicais como a Amazônia. A não utilização da água no processamento de minério de ferro e a não geração de lamas de rejeito representa um ganho ambiental significativo.

A friabilidade do minério foi outra característica importante para o projeto, pois eliminou a necessidade de desmonte por explosivos e interrupção das operações, permitindo a instalação do sistema TRUCKLESS, responsável pelo transporte do ROM diretamente da cava até a planta de beneficiamento, que por sua vez foi construída fora da FLONACA. Essa tecnologia teve como ganho ambiental a eliminação do uso de uma frota de 100 caminhões, e redução do consumo de 65 milhões de litros de diesel por ano, o que representa uma economia de 77% no consumo de combustível fóssil e equivalente redução nas taxas de emissão de CO2 para atmosfera (Souza, 2017).

Portanto, a adoção do sistema TRUCKLESS possibilitou a construção da usina de beneficiamento fora da unidade de conservação, mostrando sua eficácia em termos econômicos, com redução de custos de britagem e transporte do minério da cava até a usina de beneficiamento.

**4.2 – O uso de energia solar na mineração**

Dentre os principais desafios e futuras linhas de pesquisa da literatura internacional sobre inovação e tecnologia o estão os estudos de redução do consumo de energia e substituição dos sistemas convencionais por de fontes renováveis de energia como energia solar (Aznar-Sánchez et al., 2019).

Recentemente o uso da energia solar vem ganhando espaço cada vez maior como uma opção para os problemas de energia em muitos países. Na última década empresas do setor experimentaram um crescimento sem precedentes ao ponto de atingirem o potencial de 193Gw já instalados, ainda no de 2013, sendo que 98% de todas as instalações solares tiveram início à partir de 2004 com destaque para os países China, Japão e EUA. Uma análise desse processo revela que a expansão do setor se deve aos avanços em redução de custos de implantação, melhorias no processo de aquisição e de armazenamento de energia, e ainda, às políticas e linhas de financiamentos para o aumento geração de energia limpa e de menor impacto ambiental. Em última análise essa observação está em acordo com as recomendações dos Princípios do Equador quando se refere às considerações de opção de financiamento desse tipo de projeto (SCHEPERS, 2011).

A mina de Otjikoto, iniciou suas operações utilizando um sistema gerador baseado no óleo combustível pesado. O HFO (*high fuel oil*) é um termo genérico usado para descrever os combustíveis de elevada densidade e viscosidade obtidos do resíduo da destilação do petróleo bruto e blendado com óleos mais nobres, utilizados em motores de propulsão para geração de movimento e/ou calor. Seu inconveniente é ser um produto impuro contendo metais tóxicos como As, Cd, Cr, Hg, Ni e Pb, e enxofre em concentrações de até 3.5%. Durante sua queima, além do CO­2,­­­ uma significativa parcela de gases de enxofre (SO2 e SO3) e metais pesados são liberados para a atmosfera, aumentando os níveis de poluição atmosférica, geração de chuvas com pH ácido além de contribuir para o aquecimento global e impactos diretos na qualidade de vida e ambiental do ecossistema local aonde o empreendimento se encontra. Do ponto de vista econômico o uso do HFO tem impacto direto no fluxo de caixa do projeto com os elevados custos de transporte, oscilações dos preços, taxas de importações e eventuais perdas por roubos ou acidentes durante seu transporte. Somente no ano de 2017 a movimentação total dessa operação foi de 21.7 milhões de litros consumidos ao custo total de US $ 10,5 milhões (BR2GOLD, 2018).

Para atender à demanda da mina de 12.5Mw/dia, foi considerada uma usina solar com capacidade adicional de 7Mw/dia. O projeto teve início em 2016 com um estudo de viabilidade financeira que orçou a implantação em U$ 8.5 Milhões e retorno do capital em 4.3 anos. Os estudos indicaram ainda economia de até 20% no consumo de HFO com diminuição de carga na usina convencional, e redução nos custos de manutenção de seus geradores (BR2GOLD, 2018).

Com a implementação do sistema híbrido e reinício das operações na mina de Otjikoto, foi observada redução de 2.3 milhões de litros de HFO e economia nos custos de geração de energia em cerca de 10% já em 2018, repercutindo positivamente em toda a cadeia de impactos socioambientais.

Uma conseqüência importante desse processo é a percepção positiva da relação com a comunidade local, no sentido de obtenção de uma Licença Social para Operar, uma vez que o excedente energético produzido pode ser revertido para as comunidades locais e que, ao término das atividades da mina, a planta solar poderá ser integralmente utilizada pelas comunidades locais. Conforme Prno, et. al (2012), as ações convencionais do desenvolvimento mineral não são suficientes para a sociedade e exigem maior participação das comunidades locais e agentes diversos como atores principais nos processos de tomada de decisão. Esse ponto de vista de parece correto quando se analisam os conflitos empresa de mineração e comunidade local em países com tradição em mineração. Já no caso da mina Otjikoto, na Namíbia, todo o processo parece não ter tido a participação da comunidade sendo o benefício social mais uma conseqüência pela da opção da companhia de usar energia solar em suas operações.

O uso da energia solar na mineração pode ser considerado uma iniciativa sustentável na geração de energia limpa, renovável e altamente competitiva nos locais com altos índices de incidência solar, como é o caso da Namíbia. A estratégia da mina de Otjikoto, de unir os dois sistemas de energia se mostrou uma alternativa sensata, econômica e sustentável e o projeto acabou se tornando um modelo para outras minas que atuam na região.

**4.3 – Reuso de rejeito de minério de ferro de barragens para a produção de tintas sustentáveis.**

Estudos do uso e reuso dos rejeitos gerados pela mineração não são novos. Para o rejeito de mineração produzido nas minas de ferro sua utilização como fonte de matéria prima para produzir tinta sustentável é uma dessas opções. Em especial no estado de Minas Gerais, no quadrilátero ferrífero, aonde o minério de ferro é oriundo de itabiritos e não de hematitas como em Carajás, no estado do Pará, a geração de lamas e necessidade de criação de barragens, assim como sua manutenção é maior. Segundo Fontes (2016), o rompimento da barragem do Fundão, na cidade de Mariana em 2015, lançou mais de 62 milhões de metros cúbicos de rejeitos de minério de ferro, levando a morte de muitas pessoas e comprometeu todo o meio ambiente ao longo do Rio Doce. O autor reforça ainda que apesar dos programas de gestão ambiental voltados à redução do volume de resíduos e descarte adequado de resíduos, e aprimoramento nos procedimentos de manutenção e monitoramento de barragens, ainda é notável o risco associado à deposição desses materiais nessas estruturas.

A utilização do RMF como pigmentos ocasionaria a redução dos volumes de rejeitos em barragens minimizando os riscos de contaminação. Segundo Boechers (2018), as barragens de rejeitos são ameaças de contaminação ambiental que perpetuam por um longo tempo após o fechamento de uma mina. Portanto, elas necessitam de monitoramento após o encerramento das atividades mineradoras, o que acaba gerando uma injustiça intergeracional na transferência de responsabilidade para futuras gerações (Gibson e Robinson, 2014). Assim o reuso do RMF para produção de tintas sustentáveis além de reduzir os riscos de contaminação ambiental, minimizaria a injustiça intergeracional gerado pelas industrias mineradoras.

A adoção do uso de RMF na produção da tinta sustentável representa vantagens não ligadas apenas à sua viabilidade técnica, mas também na possibilidade em reduzir os custos envolvidos com a produção convencional de pigmentos inorgânicos e proporcionar ao consumidor a opção de poder utilizar um produto sustentável, e contribuir para o desenvolvimento no setor de mineração e construção civil.

O RMF ainda apresenta granulometria próxima aos pigmentos comerciais de tintas, não necessitando processamento químico, físico e purificação. Isso faz do RMF um material promissor por possibilitar sua utilização direta na produção das tintas sustentáveis, e gerar economia de energia no processo por dispensar a moagem do material.

A tinta sustentável com ligantes de cimento, cal e resina acrílica apresenta-se como revestimento homogêneo, contudo é aconselhável em ambientes que não estão sujeito a intemperismo. Já as tintas com PVA e, PVA mais calcário, apresenta-se como excelentes revestimentos resistentes ao intemperismo, o que possibilita sua utilização em qualquer ambiente. Todas as misturas possuem baixo custo para sua produção quando comparada com tintas comerciais.

**4.4 – Estudo de sustentabilidade das tecnologias utilizadas.**

Para os três casos é possível observar efeitos positivos em termos econômico, social e ambiental. Ou seja, as tecnologias aplicadas proporcionaram aos processos de mineração uma aproximação do conceito de sustentabilidade, mesmo sendo uma conseqüência dos processos implantados e/ou idealizados .

A tabela 1 organiza para cada um dos casos estudados, o tipo de tecnologia, inovação ou estudo, sua principal motivação de implantação e uma lista das consequências identificadas em cada caso. Por sua vez, é eleito para cada conseqüência um enquadramento nos cenários econômico, social e ambiental.

Os exemplos da Vale e da B2Gold possuem similaridades em termos de redução de gastos com energia, visto esse ser um dos maiores custos das empresas mineradoras, mas diferenciam-se pelo grau de magnitude do impacto ambiental e social. No caso da Vale, a implantação do Sistema Truckless teve um impacto muito mais forte na esfera ambiental do que social. Já a B2Gold, com o uso do sistema de energia solar houve grande impacto na esfera social com a geração de energia limpa e possibilidade de transferência do excedente para a comunidade local durante a vida útil da mina e mesmo após seu fechamento. Contudo vale lembrar que essa usina requer gastos de manutenção e alguém precisará arcar com essa responsabilidade quando o tempo de vida útil da mina acabar. Não é possível afirmar se a economia da comunidade será capaz de custear esses gastos futuros.. Por fim, o estudo das tintas sustentáveis através do RMF visou a redução do volume do rejeito do minério de ferro em barragens para reduzir os gastos com disposição desses rejeitos.

Para os casos analisados das minas de ferro e ouro, do ponto de vista social, não parece ter havido ampla aprovação da sociedade para realização daqueles projetos no sentido de se obter uma Licença Social para Operar. No caso da Mina de Canaã, embora o projeto trouxesse benefícios econômicos e ambientais para a comunidade, apenas os aspectos econômicos relacionados a empregos e iniciativas triviais de implantação de projetos sócio-ambientais, comuns para a maioria das empresas mineradoras foram observados. No caso da B2Gold, a motivação foi também econômica e o projeto também não teve a participação da comunidade local. O importante nesses dois casos são as questões de esclarecimento e de engajamento da sociedade na compreensão dos impactos provenientes da implantação de uma mina, o que parece não ter ocorrido no devido tempo.

.

Tabela 1 Tecnologias voltadas para o setor de mineração que visa a sustetabilidade nos processos extrativos.



1. **Conclusão**

Os projetos implementados pelas empresas Vale e B2Gold, e os estudos do aproveitamento do RMF já fizeram ou fazem parte de investimentos em P&D daquelas e outras empresas de mineração, e têm em comum melhorias de seus processos operacionais. Obviamente, a redução de custos e aumento das margens de lucro são os objetivos principais das empresas, embora as questões ambiental e social também integrem as decisões corporativas na hora da tomada de decisão sobre quando e como implementar um novo projeto.

Empresas de mineração estão sob pressão cada vez maior para incorporar o conceito de sustentabilidade na tomada de decisão estratégica de seus processos e operações. Os anseios da sociedade, a pressão dos governos, de grupos ambientais e das comunidades locais organizadas e seus apoiadores fizeram com que o comportamento das grandes empresas de mineração esteja em sintonia com esses movimentos e tendências de sustentabilidade. Nesse cenário a implementação de tecnologias modernas de baixo custo, eficientes e de baixo impacto ambiental se mostram como alternativas que podem atender as necessidades das empresas e ao mesmo tempo possibilitar menor intervenção ao meio ambiente, o que é bom para a sociedade. Mais ainda, a adoção de iniciativas tecnológicas, permite que se produza mais renda a um custo ambiental menor permitindo um maior retorno para a sociedade dentro de um conceito de desenvolvimento sustentável.

**REFERÊNCIAS**

AZAPAGIC, A., 2004. Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry. J. Clean. Prod. 12, 639–662. https://doi.org/10.1016/S0959-6526(03)00075-1

AZNAR-SÁNCHEZ, J.A., VELASCO-MUÑOZ, J.F., BELMONTE-UREÑA, L.J., MANZANO-AGUGLIARO, F., 2019. Innovation and technology for sustainable mining activity: A worldwide research assessment. J. Clean. Prod. 221, 38–54. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.243

BAI, C., KUSI-SARPONG, S., SARKIS, J., 2017. An implementation path for green information technology systems in the Ghanaian mining industry. J. Clean. Prod. 164, 1105–1123. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.151>

BOERCHERS, M.; SINCLAIR, A.J.; GIBSON, R.B.; HALDEN, N.M. 2018. “Sustainability is

finding the next mine”: The complicated relationships among legacies, sustainability and

EA. Environmental Impact Assessment Review 71: 84-93.

BR2GOLD, 2018. News Release: B2Gold Celebrates the Opening of the Solar Power Plant at its Otjikoto Mine in Namibia. https://www.b2gold.com/\_resources/news/nr\_20180605.pdf

BR2GOLD, 2014 Mining Expo & Conference. https://www.chamberofmines.org.na/files /4614/7035/4140/B2Gold\_-\_Othiokoto\_Gold\_Project.pdf

FONTES, W.C., MENDES, J.C., DA SILVA, S.N., PEIXOTO, R.A.F., n.d. Mortars for laying and coating produced with iron ore tailings from tailing dams.

FONSECA, A.; MCALLISTER, M.L.; FITZPATRICK, P. 2013. Measuring what? A comparative anatomy of five mining sustainability frameworks. Minerals Engineering 46-47: 180-186.

GALVÃO, J.L.B., ANDRADE, H.D., BRIGOLINI, G.J., PEIXOTO, R.A.F., MENDES, J.C., 2018. Reuse of iron ore tailings from tailings dams as pigment for sustainable paints. J. Clean. Prod. 200, 412–422. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.313

GE, X., SU, S., YU, H., CHEN, G., LU, X., 2018. Smart Mine Construction based on Knowledge Engineering and Internet of Things 14, 1060–1068. https://doi.org/10.23940/ijpe.18.05.p25.10601068

GIBSON, R.B. 2006. Sustainability assessment: basic components of a practical approach. Impact Assessment and Project Appraisal 24(3): 170-182.

GIBSON, R.B., ROBINSON, A.V., 2014. Mining and sustainability: a local and regional

legacy effects framework for planning, assessment and related applications. In: Mining and

Sustainability: A Local and Regional Legacy Effects Framework for Planning, Assessment.

HELDER, M., POR, D., HELDER, M., FRASCATTI, S., 2015. PD & I – Pesquisa , desenvolvimento e inovação NA. Rev. Inthemine 66, 60–70.

JENKINS, H., YAKOVLEVA, N., 2005. Corporate social responsibility in the mining industry: Exploring trends in social and environmental disclosure. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.10.004

KOPPE, J., 2007. A lavra e a indústria mineral no Brasil: estado da arte e tendências tecnológicas. In: Castilhos, Zuleica; Luz, Adão Benvindo da; Matos, Gerson de (Eds.), Tendências – Brasil 2015 – Geociências e Tecnologia Mineral. Parte II. CETEM/MCT, Rio de Janeiro.

KEMP, R., PEARSON, P., 2007. Deliverable 15 Final report MEI project about measuring eco-innovation.

YA-FEN WANG, et. al., 2010 Characteristics of Heavy Metals Emitted from a Heavy Oil-Fueled Power Plant in Northern Taiwan: Aerosol and Air Quality Research, 10: 111–118

MORRIS BAKKEN, G., 2007. Montana, Anaconda, and the Price of Pollution, Source: The Historian.

PRNO, J.; SLOCOMBE, D.S. 2012. Exploring the origins of ‘social license to operate’ in the mining sector: Perspectives from governance and sustainability theories. Resources Policy, 37: 346-357.

REDE CARVÃO, 2010 - Rede de Pesquisa Desenvolvimento e Inovação do Carvão Mineral. Projeto Backfill – Seminário da Rede Carvão, 13 a 15 de Abril, Porto Alegre-RS

RIBEIRO, B.G.C.. 2013 Estudo de Viabilidade Econômica para Implantação de Correias Transportadoras de ROM de Minério de Ferro. Estudo de Caso da Mina Fábrica em Congonhas, Estado de Minas Gerais. Tese Mestrado em Lavra - Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, p.69

SCHEPERS, D.H. 2011. The equator principles: A promise in progress? Corporate Governance 11(1): 90-106.

SONTER, L.J.; HERRERA, D.; BARRETT, D.J.; GALFORD, G.L.; MORAN, C.J.; SOARES-FILHO, B.S. 2017. Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon. Nature Communications 8: 1013.

SOUZA, M.T.S. de., 2017 Da Carroça ao Truckless: A Inovação Tecnológica Ambiental em Indústrias Extrativas de Minério - ALTEC - 2017 XVII Congresso Latino Iberoamericano de Gestão Tecnológica, México, 13p.

TIDD, J.; BESSANT, J.; PAVITT, K. Gestão da Inovação, 3ª. Ed. Porto Alegre: Bookman,2008.

TILTON, J.E., 2002. On Borrowed Time? Assessing the Threat of Mineral Depletion. Resources for the Future, Washington D.C

TILTON, J.E., GUZMÁN, J.I., 2016. Minerals Economics and Policy. Routledge, New York.

UNEP. 2011. Towards a green economy: pathways to sustainable development and poverty eradication, A synthesis for policy makers. Unep, Nairobi, 44p.

UPSTILL, G. & HALL, P., 2006. Innovation in the Minerals Industry: Australia in a Global Context. Resources Policy, 31, 137-145.

VALE, 2012 Projeto Ferro Carajás S11D - Um novo impulso ao desenvolvimento sustentável do Brasil.

http://www.vale.com/brasil/PT/initiatives/innovation/s11d/Documents/Final-Book-S11D-PORT.pdf

VAN ZYL, D.J.A., SCOBLE, M. AND WILSON, G.W. (2007) Mine Life Cycle Systems Models and Integrated Mine Closure for Sustainability, In Mine Closure 2007, Fourie, A., Tibbett, M. and Wiertz, J. (Eds.), Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp 217 – 223.