

TECNOLOGIA INDÚSTRIA 4.0

# MINERAÇÃO DIGITAL

Caminhões autônomos  
na jazida Brucutu,  
em Minas Gerais: veículos  
gastam menos combustível  
e têm maior vida útil



## Uso de tecnologias proporciona mais produtividade e segurança a uma atividade insalubre e de alto risco

Domingos Zapparoli

DANIEL MANSUR / VALE

Quem visita a mina de Brucutu, uma jazida de minério de ferro explorada a céu aberto pela mineradora Vale em São Gonçalo do Rio Abaixo, na região central de Minas Gerais, notará o vaivém de gigantescos caminhões amarelos. Capazes de levar 240 toneladas de carga em cada viagem, eles transportam o minério retirado da lavra até a área de descarga, onde o material será processado. Os 13 veículos da marca Caterpillar que compõem a frota trafegam sem operadores na cabine. Eles são monitorados de salas de comando, por meio de sistemas de computadores, GPS, radares e inteligência artificial (IA).

Fruto de seis anos de pesquisa e testes, a iniciativa, implementada progressivamente a partir do segundo semestre de 2018, tornou Brucutu a primeira mina a operar veículos autônomos no Brasil, proporcionando mais segurança à operação. Dotados de sensores que detectam objetos e pessoas em seu trajeto, os caminhões param de se mover quando encontram obstáculos, até que o caminho esteja liberado, evitando colisões e atropelamentos. Como não há motoristas nas

cabines, reduz-se o número de trabalhadores expostos em áreas de risco, como nos locais onde são realizadas as operações em que há movimento de toneladas de rochas. A inovação gera economia. “Estimamos que o consumo de combustível e os custos de manutenção foram reduzidos em 10% e a vida útil do equipamento aumentou em 15%”, conta Hélio Mosquim, gerente de Inovação em Tecnologia da Informação da companhia.

Os caminhões autônomos da Vale, segundo especialistas do setor, são um dos exemplos de como as tecnologias digitais podem elevar a segurança e a produtividade da mineração – uma indústria que envolve detonações, risco de desabamentos, vibrações, ruídos em níveis elevados, movimentação de cargas pesadas e uso de materiais tóxicos. Empresas do setor também recorrem a sistemas de detonação remota de rochas, controle on-line da movimentação de equipamentos e trabalhadores, drones que fazem levantamento geofísico do solo, sensores integrados a software de *video analytics* para monitoramento de barragens e plataformas de IA que analisam em tempo real o teor de minério.



## Mineração do futuro não terá funcionários em áreas de risco, diz Giorgio de Tomi, da USP



Sala de controle de caminhões (acima) e Centro de Inteligência Artificial (à dir.), ambos da Vale: melhor aproveitamento das reservas minerais

“A mineração é uma atividade insalubre, mas precisamos dos minérios, que são a base de grande parte do que consumimos. A solução para boa parcela dos problemas é automatizar tudo o que for possível”, diz o engenheiro de minas Giorgio de Tomi, diretor do Núcleo de Pesquisa para a Mineração Responsável da Universidade de São Paulo (NAP.Mineração-USP). A mineração do futuro, avalia Giorgio de Tomi, será totalmente autônoma, sem a presença de funcionários em áreas de risco, e fará uso intensivo de inteligência artificial e aprendizado de máquina na análise de dados. A meta é gerar produtividade e determinar a forma mais sustentável e econômica de aproveitamento de reservas minerais cada vez mais escassas e localizadas em regiões remotas e profundas.

Uma das maiores empreitadas tecnológicas da mineração global é liderada pela companhia sueca Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag (LKAB) – a Suécia se destaca pelo desenvolvimento de soluções de ponta para o setor mineral. A mineradora planeja chegar até 2030 às reservas de minério de ferro situadas a quase 2 quilômetros (km) de profundidade das minas de Kiruna e Malmberget. Após mais de 100 anos de exploração, os corpos minerais mais proeminentes dessas duas reservas já estão em fase de esgotamento.

Para possibilitar a extração em minas tão profundas, um consórcio multinacional de empresas formado por ABB, Epiroc, Combitech e Volvo Group desenvolve tecnologias capazes de perfurar, extrair e transportar o minério de forma



autônoma e eletrificada, para não haver emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), em uma profundidade na qual não há conectividade, pois existe forte interferência na transmissão de sinais de telecomunicações, afetada por explosões e abalos.

No Brasil, a Vale, maior mineradora do país e uma das líderes globais do setor, fechou no fim de 2019 um acordo de R\$ 21 milhões com a operadora Vivo para implementar uma rede privada Long Term Evolution (LTE/4G), para transmissão de dados em áreas remotas em todas as suas unidades em território nacional. A mina de Carajás, no Pará, deverá estar conectada ainda neste primeiro semestre. Segundo Mosquim, da Vale, o sistema dará suporte à implementação de perfuratrizes e veículos autônomos. A ideia é ter 37 caminhões autônomos em Carajás até 2024.

iniciado em 2016, o processo de transformação digital da Vale ganhou força há dois anos, quando a companhia iniciou um programa com previsão de investimentos de US\$ 467 milhões até 2023 para avançar rumo à indústria 4.0. Um Centro de Operações Integradas foi constituído em Nova Lima (MG) com o objetivo de integrar a cadeia produtiva e as diferentes áreas de negócios por meio de tecnologias digitais.

Como explica Mosquim, cada unidade trabalhava de forma independente. Hoje, algoritmos analisam a demanda para determinar o ritmo de produção e o embarque em navios de um mix de minério com o teor de ferro adequado para o processo produtivo de cada cliente siderúrgico, valorizando o produto. Estima-se que a iniciativa gere ganhos anuais de mais de US\$ 600 milhões.

No início de 2019, a Vale inaugurou um Centro de Inteligência Artificial em Vitória (ES) para desenvolver soluções para suas áreas de negócios. Um dos projetos pioneiros é a otimização do processo de produção de pelotas, os pequenos



aglomerados de minério de ferro usados nas siderúrgicas. A análise de dados por meio de técnicas de IA permitiu um balanceamento mais eficiente entre o carvão e o gás natural utilizados no processo de pelletização, reduzindo em 7% os gastos com esses insumos.

#### MONITORAMENTO DE BARRAGENS

O rompimento da barragem de Brumadinho (MG) em 25 de janeiro de 2019, tragédia que deixou 249 mortos e um rastro de destruição ambiental, obrigou a Vale a rever seu processo de monitoramento de barragens. A empresa criou um Centro de Monitoramento Geotécnico em Minas para acompanhar em tempo real a situação de 111 estruturas de risco no país. A tecnologia empregada utiliza sensores integrados a softwares de *video analytics*, em que algoritmos analisam dados, projetam eventuais problemas e disparam alertas preventivos para equipes técnicas de acompanhamento que trabalham de forma ininterrupta.

Para armazenar o rejeito de minério, a Vale investe em processamento a seco, uma tecnologia que dispensa o uso de barragens. Até 2023 um total de 70% da produção será beneficiada por métodos a seco. A companhia será a primeira mineradora a usar em escala industrial a tecnologia desenvolvida pela NewSteel, empresa adquirida recentemente. Outro método a ser empregado é o empilhamento de rejeitos.

As tragédias ocorridas em Brumadinho e Fundão, a barragem da Samarco em Mariana (MG), rompida em 2015 com o custo de 19 vidas e a contaminação do rio Doce, deixaram patente a necessidade de um acompanhamento sistemático do volume e das características da lama de rejeitos ainda contida nessas duas barragens e do material que vazou para a calha dos rios atingidos. O monitoramento feito em Brumadinho, Mariana e nos mananciais atingidos pelos desastres tem como objetivo evitar novos danos e fornecer informações para o plano de recuperação ambiental. O trabalho é feito por prestadores de

serviços que utilizam dados dos drones da startup paulista XMobots (ver Pesquisa FAPESP nº 211).

Com o apoio do programa Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (Pipe), da FAPESP, a XMobots desenvolveu o único drone brasileiro com certificação da Agência Nacional de Aviação Civil (Anac) para voar acima de 120 metros e fora do alcance visual, realizando voos de até 30 km. Giovanni Amianti, sócio-fundador da XMobots, explica que os drones da empresa operam de forma autônoma, deslocando-se por grandes distâncias com auxílio de GPS e sensores. São diferentes daqueles que precisam ser teleguiados por um operador em terra usando controle remoto, o que limita o seu alcance.

Eles são equipados com o sistema *high accuracy* (HA), que permite uma acurácia (exatidão) da ordem de 3 centímetros (cm), enquanto a margem de erro de sistemas convencionais, com GPS, é de 8 cm. “Outra vantagem sobre o GPS é que a tecnologia HA dispensa o uso de marcadores de solo para a coleta de coordenadas, tarefa difícil de ser realizada em um terreno movediço, como a lama”, destaca Amianti.

A Nexa Resources, mineradora que reúne os negócios de cobre, zinco, chumbo, prata e ouro do grupo Votorantim, também utiliza drones autônomos dotados de sensores eletromagnéticos desenvolvidos em conjunto pela companhia e a startup peruana Deep Sounding. Eles são usados no levantamento geofísico de suas minas a céu aberto no Peru. Rodrigo Alberto Moreira Gomes, gerente de Inovação e Energia da Nexa, informa que os drones são programados para voar a 30 m do solo, acompanhando o relevo, e esquadriñar o terreno para detectar as regiões com maior probabilidade de presença mineral, algo feito antes por helicóptero ou avião. “Os drones são mais econômicos e, por voarem mais próximos ao solo, geram resultados mais precisos.”

#### VENTILAÇÃO E BAUXITA

Desde 2011 a Nexa vem investindo no desenvolvimento de soluções em mineração digital, com um gasto anual na casa de US\$ 9 milhões, o equivalente a 0,36% de sua receita líquida em 2018. Entre os projetos efetivados pelo setor de pesquisa e desenvolvimento da companhia está um sistema de ventilação sob demanda implementado na mina subterrânea de Vazante (MG), que explora zinco e chumbo. No sistema tradicional, os ventiladores trabalham de forma contínua, enquanto a nova tecnologia programa a ventilação de acordo com a movimentação de pessoas e máquinas dentro da mina, reduzindo o gasto de energia.

“No momento, o ritmo da ventilação é programado, mas já trabalhamos para criar sensores que determinarão a ventilação”, diz Gomes. Outra inovação é um sistema de detonação remota in-

Mina de alumínio da CBA usa sistema automatizado para tratar água de rejeito

3





# Um celeiro de novas ideias

Criado há dois anos, o Mining Hub desenvolve soluções para o setor mineral

Em 2018, um grupo de 25 mineradoras e empresas da cadeia produtiva do setor criou, com o apoio do Instituto Brasileiro de Mineração (Ibram), um ecossistema de inovação, o Mining Hub, rede de colaboração virtual que está no terceiro ciclo de desafios para startups com temas ligados à energia renovável, gestão de água e resíduos, excelência operacional, segurança e desenvolvimento social. Rodrigo Gomes, coordenador do hub e gerente de Inovação e Energia da Nexa, diz que existem 20 projetos em teste.

Um deles, desenvolvido pela startup LLK sob demanda da Vale, coleta e processa informações por imagem de todo o espectro eletromagnético. Um sensor determina o teor de minério de ferro que passa por esteiras de transporte, sem análise em laboratório. "O sistema permite uma venda mais adequada", diz Hélio Mosquim, gerente de Inovação em Tecnologia da Informação da Vale. A inovação está em fase de testes.

O apoio de mineradoras também tem estimulado a inovação nas universidades. Uma parceria da Vale com a Federal do Espírito Santo e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo permite que 30 estudantes façam imersão na companhia. Dois projetos de alunos estão em desenvolvimento no Centro de Inteligência Artificial de Vitória, um para a prevenção de falhas em motores de locomotiva e outro para detectar restrições de velocidade na Estrada de Ferro Vitória a Minas. Em São Paulo, uma parceria da Vale com a FAPESP gerou o projeto Mineração do Futuro, realizado pelo Núcleo de Pesquisa para a Mineração Responsável da Universidade de São Paulo (NAP.Mineração-USP). Seu objetivo é desenvolver conceitos de transformação digital como apoio à tomada de decisões na mineração.

Giorgio de Tomi, diretor do NAP. Mineração, relata que o projeto teve desdobramentos, como a criação de um

MBA em data science para engenheiros na Escola Politécnica da USP, que terá este ano sua primeira turma, e de uma startup, a Dual Mining, formada pelos engenheiros de minas Ranyere Sousa Silva e Erbert Barros Bezerra. Eles criaram um sistema com base em inteligência artificial e aprendizado de máquina para análise on-line da produtividade de equipamentos e frota em áreas de mineração.

Outro desdobramento é um projeto apoiado pela FAPESP para a transformação digital e a simulação, voltadas para pequenas empresas. "As grandes mineradoras brasileiras estão em estágio tecnológico idêntico ao das companhias globais. Mas as pequenas e médias estão muito distantes e não vão transformar seus processos sem apoio", afirma Giorgio de Tomi. Segundo o Ibram, a mineração nacional tem 9.400 minas, operadas por 7.638 empresas. Destas, 87% são classificadas como microempresas e 11% têm pequeno ou médio porte.

formatizada, que dispensa a necessidade do profissional que faz o carregamento de explosivos acender pavios e correr para se afastar da região da explosão. O sistema está em teste na mina de Morro Agudo (MG).

As duas inovações serão empregadas em Aripuanã, um projeto mineral subterrâneo em Mato Grosso, onde a Nexa prevê a exploração e beneficiamento anual de 66,7 mil toneladas de zinco, 23 mil de chumbo e 3,7 mil de cobre a partir de 2021. Segundo Marco Henrique Carrete, gerente corporativo de Automação, o processo de produção e o tráfego de máquinas em Aripuanã serão controlados pela tecnologia digital Dispatch System, que emprega dados de localização por telemetria para identificar, acompanhar o uso e posicionar de forma mais adequada os equipamentos que transitam pela mina, reduzindo o consumo de combustível. Um sistema de *tracking*, que acompanha os percursos, será utilizado para evitar atropelamentos e colisões de equipamentos.

Novas soluções tecnológicas também vêm sendo usadas na mineração de bauxita. Em Miraf (MG), a Companhia Brasileira de Alumínio (CBA) recorre a um sistema automatizado que utiliza recursos de inteligência artificial para gerir a

Estação de Tratamento de Água (ETA) de sua planta de beneficiamento. Christian Fonseca de Andrade, gerente da unidade, explica que a ETA tem a finalidade de tratar a água da barragem de rejeitos, mantendo o seu nível em patamares seguros e devolvendo-a para o meio ambiente com qualidade superior à exigida pela legislação. O sistema automatizado, projetado pela Bauminas Ambiental, de Campinas (SP), realiza a medição constante dos parâmetros de vazão, potencial hidrogeniônico (pH) e turbidez da água que chega e sai da estação e aplica reagentes químicos necessários para o tratamento, substituindo o trabalho de quatro pessoas. "A automação garante a qualidade da água tratada e ainda permite uma redução de 80% no uso de produtos químicos", conta Andrade. ■

## Projetos

1. AMAS6: Sistema de imageamento multispectral para veículos aéreos não tripulados (Vants) (nº 16/01011-4); **Modalidade** Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (Pipe); **Pesquisadora responsável** Michelle Matos Horta Tenca (XRobots); **Investimento** R\$ 142.136,15.
2. Simulação dinâmica da cadeia mineral mina-cliente (nº 16/00647-2); **Modalidade** Auxílio à Pesquisa – Regular; **Pesquisador responsável** Giorgio Francesco Cesare de Tomi (USP); **Investimento** R\$ 49.980,78.

Os demais projetos consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.