

ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA DA INFLUÊNCIA DE *UNDERBREAK* E *OVERBREAK* NA LAVRA DE OURO EM MINA CÉU ABERTO: ESTUDO DE CASO CÓRREGO DO SÍTIO I

Napáuria Dias Da Cunha, AngloGold Ashanti, Santa Bárbara, Brasil
NDCunha@anglogoldashanti.com.br

Fernanda Cristina Pereira, AngloGold Ashanti, Santa Bárbara, Brasil
FCPereira@AngloGoldAshanti.com.br

Tiago Carneiro Lopes, AngloGold Ashanti, Santa Bárbara, Brasil
TCLopes@AngloGoldAshanti.com.br

Sandro Sander Chaves, AngloGold Ashanti, Santa Bárbara, Brasil
SSChaves@AngloGoldAshanti.com.br

Thássio Queiroz de Freitas Souza, AngloGold Ashanti, Santa Bárbara, Brasil
TQSouza@AngloGoldAshanti.com.br

Thiago José Augusto Madeira, AngloGold Ashanti, Santa Bárbara, Brasil
TJMadeira@AngloGoldAshanti.com.br

RESUMO

O trabalho de controle de qualidade do minério na rotina de curto prazo de uma operação, tanto em mina a céu aberto quanto em subterrânea, é essencial para garantir a entrega da produção planejada, sendo comumente conduzido pela equipe de geologia. Dessa forma, um dos principais indicadores acompanhados para garantir essa qualidade é a aderência da lavra ao projeto, identificando áreas de *underbreak* e *overbreak* na lavra. Essa análise pode ser realizada tanto em cavas quanto em *stopes* de lavra subterrânea. Dessa forma, um trabalho multidisciplinar de conferência da aderência da lavra frente ao projetado e a sua relação com perda de minério foi desenvolvido e aplicado pela equipe de geotecnia e geologia em três cavas da mina Córrego do Sítio I. O trabalho busca aprimorar e aumentar a assertividade no informe de indicadores de desempenho, tais como diluição, teor e massa de minério lavrado.

Palavras-chave: *underbreak*, *overbreak*, qualidade, ouro

ABSTRACT

The ore quality control job in the short term operation is essential to assure the achieving goals of the planned production, as far open pit mine as underground mine, and it being commonly conducted by the geology team. Thus, one of the main indicators that guarantee this quality is the adherence of the mine to the project through the identification of areas with underbreak and overbreak. This analysis can be carried out both in pits and in underground mining stopes. In this way, a multidisciplinary work to check the adherence of the mine against the projected and its relationship with ore loss was developed and applied by the geotechnics and geology team in three pits of the Córrego do Sítio I mine. The work seeks to improve and increase the assertiveness in reporting performance indicators, such as dilution, content and mass of ore mined.

Keyword: underbreak, overbreak, quality, gold

INTRODUÇÃO

O complexo Córrego do Sítio situa-se no município de Santa Bárbara, MG, à 110km da capital mineira, Belo Horizonte (Figura 1). As minas pertencem à AngloGold Ashanti, abrangendo cavas à céu aberto e operações em subsolo.

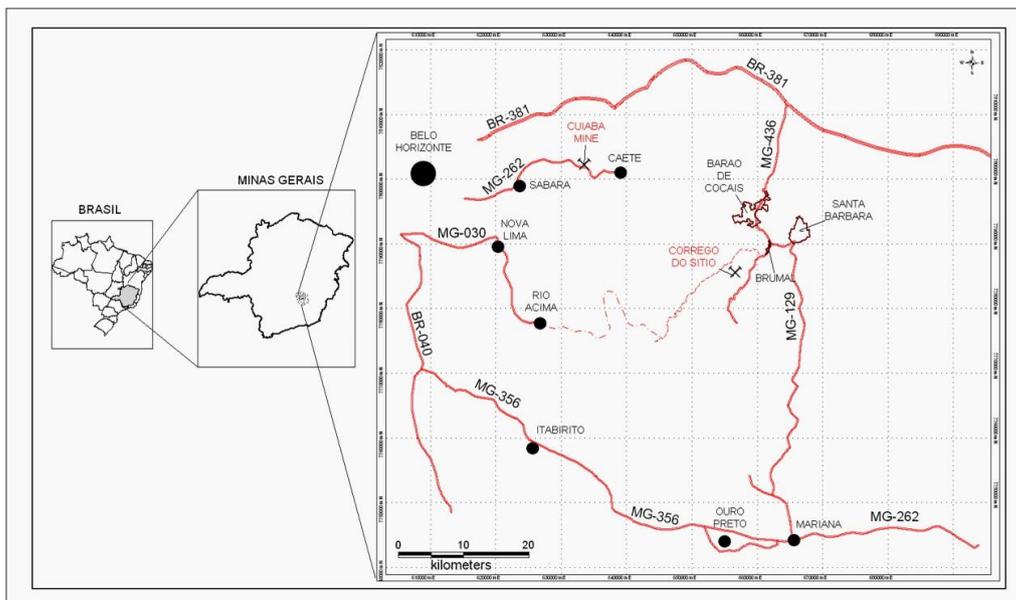


Figura 1. Localização do complexo Córrego do Sítio, unidade da AngloGold Ashanti (Fonte: Lemos *et al*, 2019) [1].

Essa região do centro de Minas Gerais que, em meados do século passado, passou a ser conhecida como Quadrilátero Ferrífero (QFe), poderia ter sido originalmente chamada de Quadrilátero Aurífero (Figura 2). Isto porque ela abarca o coração da “região das minas” do período colonial, onde foram encontrados os mais numerosos e ricos depósitos auríferos que abasteceram a economia do Ciclo do Ouro (Alkmim, 2020) [2].

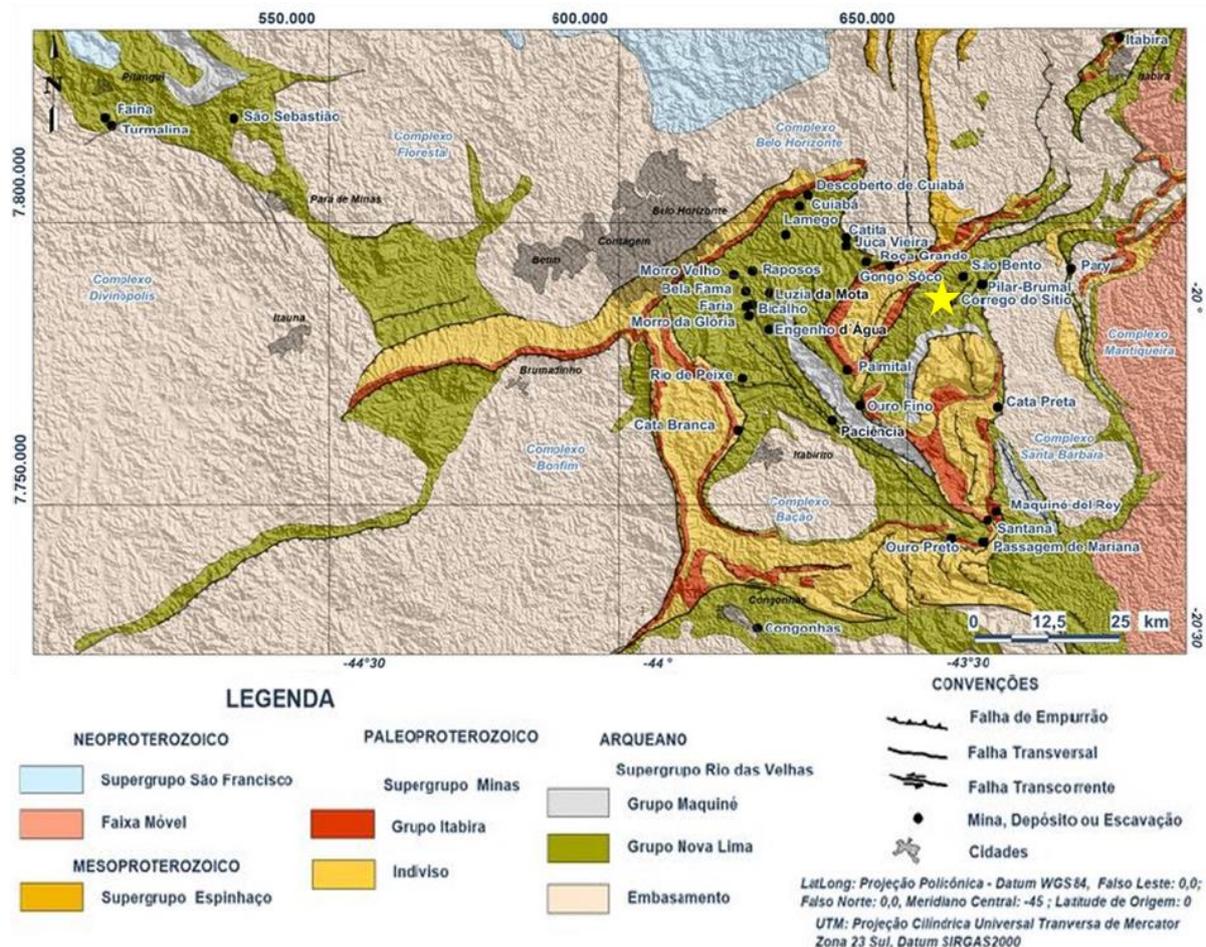


Figura 2. Mapa geológico do QFe com localização do complexo Córrego do Sítio (Fonte: <http://recursomineralmg.codemge.com.br/substancias-minerais/ouro/> [3]. Acessado em 07 de fevereiro de 2021)

Historicamente, o método de lavra a céu aberto sempre foi considerado como um método de grande movimentação de material e pouca seletividade (Câmara, 2013) [4]. Porém, em depósitos de minérios metálicos como o ouro, sabe-se que o método de lavra deve ser o mais seletivo possível, ou seja, deve-se minimizar a diluição (lavra de estéril para retirada do minério).

Quando se trata de qualidade da lavra, além da diluição, é preciso abordar também as regiões de minério e estéril que não são recuperadas (*underbreaks*). A situação oposta (*overbreak*)

deve ser monitorada assim como os outros indicadores, pois mesmo que uma recuperação extra ocorra em região mineralizada, ela pode ocasionar impactos na estabilidade das estruturas e perdas futuras de minério.

Para o controle de qualidade são necessários alguns parâmetros essenciais como: modelo geológico e geomecânico aderente (bom conhecimento geológico-estrutural do depósito, suporte amostral suficiente e de qualidade), capacidade seletiva dos equipamentos, projeto de cava estável maximizando a recuperação mineral, aderência e excelência operacional.

Portanto, no ambiente profissional, a geologia (especialmente de curto prazo) é a área responsável por controlar a qualidade dos indicadores da lavra. Sendo assim, esse trabalho propõe um método multidisciplinar de avaliação da aderência operacional, ou seja, análise das áreas de *underbreak* e *overbreak* associadas ao controle de diluição e impactos na estabilidade dos taludes em cavas a céu aberto.

METODOLOGIA

Com o intuito de contextualizar as terminologias utilizadas no trabalho e o sequenciamento lógico da uma rotina de lavra curto prazo, serão apresentados dois exemplos de ciclos operacionais que ocorrem nas minas em estudo.

O primeiro exemplo trata-se de uma lavra por desmonte mecânico (Figura 3). O ciclo operacional inicia-se com um planejamento da cava (elaborado pela equipe de planejamento de mina e validado pela equipe de mecânica das rochas/geotecnia) e o sequenciamento da lavra. Após a validação final, os dados topográficos de projeto são tratados e marcados em campo pelos topógrafos e auxiliares.

Diante das marcações em campo, a geologia executa a coleta de dados para atualização e melhoria das informações do modelo geológico. Nessa etapa, os dados são coletados mais comumente pelo método de amostragem de canal ou amostragem de pó de perfuratriz.

Os dados químicos são incorporados ao banco de dados do depósito, afim melhorar o entendimento geológico-estrutural e atualizar o modelo de minério para liberação do bloco de lavra (*grade control*). Tal etapa é desenvolvida no *software* Leapfrog Geo+Edge da Seequent, tanto modelamento geológico quanto estimativa geoestatística desses blocos, considerando os mesmos parâmetros dos modelos de curto e longo prazos estabelecidos pela equipe de avaliação de recursos, estimados no *software* Studio RM da Datamine, versão 1.7.1.

Na sequência, faz-se necessário a operacionalização dos corpos de minério para a escavação (*mine design*), considerando todos os parâmetros importantes como direção e ângulo de mergulho das lentes mineralizadas, capacidade de operação dos equipamentos, máxima

recuperação mineral e mínima diluição, respeitando sempre o projeto de cava planejada. Esse *mine design* (comumente chamado de liberação) é desenhado no *software* Studio OP da Datamine, através da geração de *strings* e *wireframes*.

O processo então retorna para a equipe de topografia realizar marcação em campo dos limites de escavação dos corpos de minério desenhados pela operação de mina (*mine design*). Dessa forma, inicia-se a escavação mecânica. Esse método de escavação é adotado em rochas com menor resistência.

Ao finalizar a lavra, é feito acabamento na execução dos taludes e a conferência topográfica de pé, crista e drenagem do projeto executado.

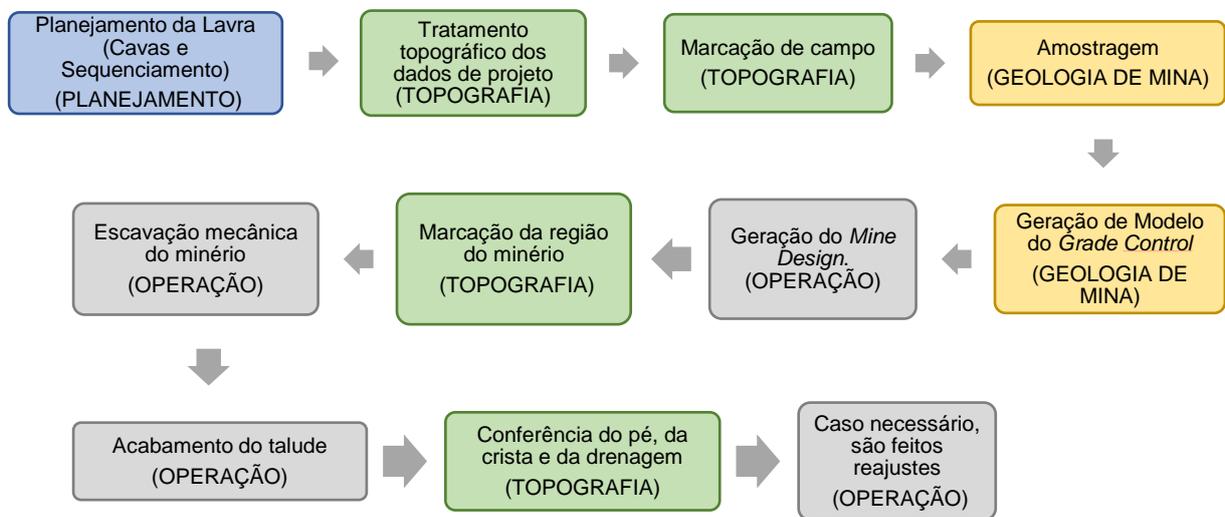


Figura 3. Fluxograma do ciclo de lavra por desmonte mecânico. *Box* azul: etapa desenvolvida pelo planejamento de mina; *boxes* verdes: atividades desenvolvidas pela topografia; *boxes* amarelos: atribuições geológicas; *boxes* cinzas: etapas desenvolvidas pela operação de mina (Fonte própria).

O segundo exemplo trata-se de lavra por desmonte com explosivos (Figura 4). O ciclo operacional desse método é similar ao mecânico, diferenciando-se na etapa pós-geração do *mine design*. Neste momento, é realizada a marcação topográfica em campo da crista do talude de projeto, para que a primeira linha de perfuração do desmonte seja executada há 1,50m de distância.

Dessa forma, na sequência é executada a perfuração e carregamento conforme plano de fogo para desmonte do material. Após a detonação, sob o maciço desmontado, é realizada a marcação dos limites do minério definido pelo *mine design*.

A partir desse momento, as próximas etapas seguem o mesmo ciclo do desmonte mecânico: escavação, acabamento de taludes, conferência dos elementos geométricos de projeto e ajustes, caso necessário.

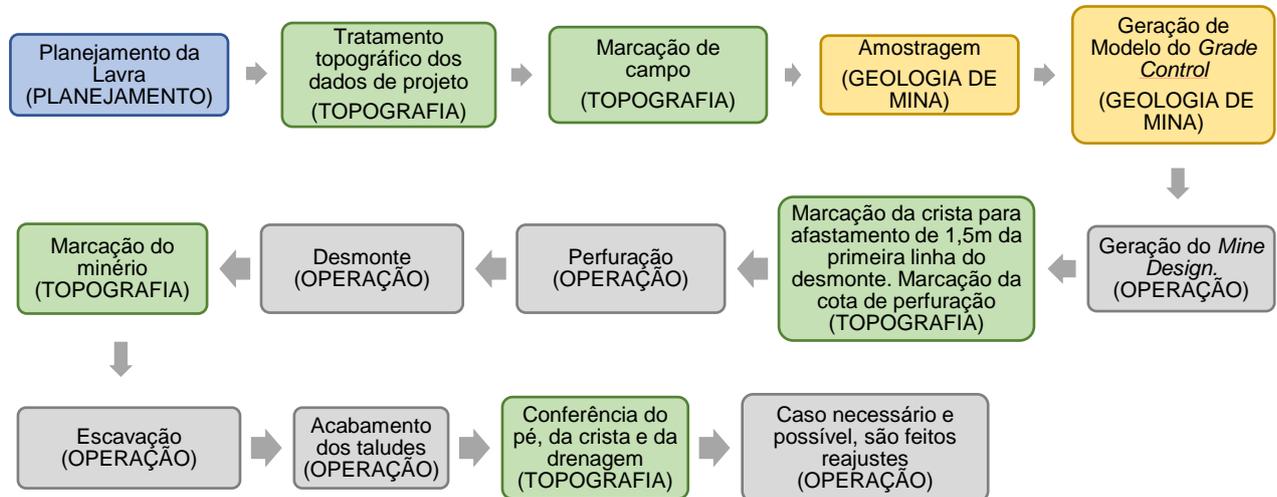


Figura 4. Fluxograma do ciclo de lavra por desmonte com explosivos. *Box azul*: etapa desenvolvida pelo planejamento de mina; *boxes verdes*: atividades desenvolvidas pela topografia; *boxes amarelos*: atribuições geológicas; *boxes cinzas*: etapas desenvolvidas pela operação de mina (Fonte própria).

Após execução da lavra, por desmonte mecânico ou detonação, é realizado levantamento topográfico da cava, através de caminhamento terrestre com GPS RTK ou aéreo com drone Phantom 4 Pro, para atualização dos elementos geométricos como taludes, bermas, acessos e piso em desenvolvimento. Essa informação é a base para toda a análise de aderência e controle de qualidade do minério.

Sendo assim, algumas premissas são importantes para a geração do arquivo atualizado de topografia, como ausência de água na área de interesse. Para o método de levantamento aéreo, a semelhança dos pontos de leitura em lâminas d'água dificulta a individualização destes e conseqüentemente o algoritmo do *software* não identifica os pontos homólogos para sobreposição, comprometendo assim a geração do ortofotomosaico fidedigno da área.

Em levantamentos terrestres, a presença de água pode comprometer a segurança do caminhamento e a identificação dos desníveis a serem capturados.

Outra premissa importante para o sucesso da análise é o momento do levantamento topográfico, que deve ocorrer sempre ao finalizar a escavação de um bloco de lavra, mas antes de iniciar o próximo bloco correspondente na cota inferior.

As análises de aderência buscam controlar a qualidade de cortes e aterros da mina, confrontando as geometrias executadas com as geometrias planejadas. Essa atividade ocorre em duas etapas: checagem de aderência em campo e análise de aderência com arquivo *wireframe* de topografia atualizada, que possui como premissa a precisão da topografia fornecida.

A primeira se dá com medição sistemática das faces dos taludes utilizando inclinômetro, avaliação das bermas com trena, avaliação qualitativa da drenagem superficial e acabamento dos bancos. Essa rotina visa a identificação imediata e eficiente de desvios e adoção de tratativas rápidas. A última é realizada através da comparação entre a geometria planejada (arquivo *wireframe* de projeto da cava) e o levantamento topográfico atualizado, utilizando o *software* GEM4D da BasRock. As avaliações são realizadas de acordo com os seguintes critérios:

- Aderência no alinhamento das escavações (isolinhas de menor distância entre planejado e executado, utiliza-se tolerância de 1,0m);
- Aderência do ângulo de face dos taludes;
- Aderência da largura das bermas;
- Adequação da drenagem superficial (inclinação transversal e longitudinal).

A aderência de alinhamento das escavações é fornecida em termos de porcentagem de *overbreak* e *underbreak*. O primeiro se refere às escavações que avançaram mais do que planejado, enquanto o último se refere às escavações com sub recuperação de material (minério ou estéril) em relação ao planejado. A análise é feita comparando a cava executada com a cava planejada, classificando a topografia em cores de acordo com a menor distância entre esses sólidos, considerando aderente variações positivas e negativas de até 1,0m (limite de tolerância em revisão).

A aderência do ângulo de face refere-se à comparação entre o ângulo da reta de máximo declive do plano de face do talude planejado e o executado. Os resultados são mostrados pela diferença da média ponderada destes ângulos. O critério de aceitabilidade considera conforme os desvios de até 3° para mais ou para menos.

A aderência de largura das bermas é realizada medindo-se as distâncias entre as linhas de pé e crista de taludes subsequentes. Consideram-se aceitáveis desvios de até 15% na largura das bermas.

A avaliação da adequação da drenagem superficial se baseia na premissa de que o caimento das bermas deve ter pelo menos 5% de inclinação transversal para o pé do talude e 0,5% de inclinação longitudinal direcionando a água para locais propícios de deságue.

DISCUSSÃO DE RESULTADOS

No estudo de caso foram avaliadas três cavas da mina Córrego do Sítio I. Para a análise de *underbreak* e *overbreak* foram utilizados os corpos de minério (*grade control*), conforme Figura 5 abaixo. Ressalta-se que o fundo das cavas será sempre classificado como *underbreak*, pois é uma região em constante lavra até que se atinja a cota do fundo de cava do projeto final. Portanto, esse método só permite avaliação consistente em áreas de taludes e bermas finais.

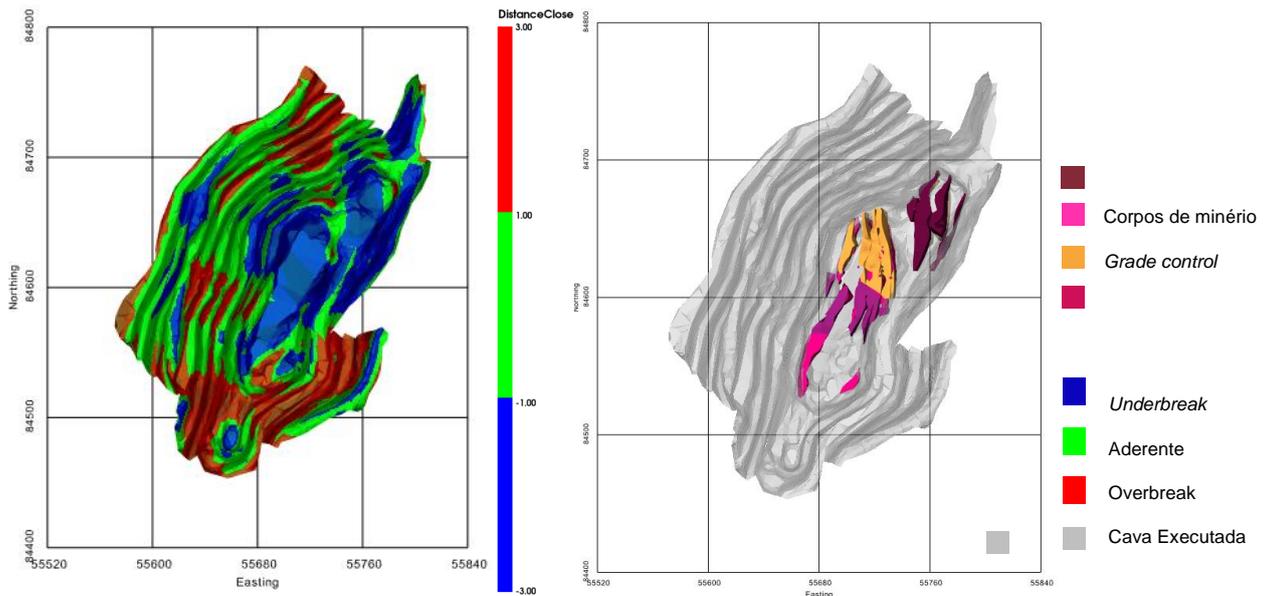


Figura 5. À esquerda, cava executada com carimbo da classificação de aderência em relação à cava planejada; à direita cava executada com os corpos de minério lavrados (Fonte própria).

Além da análise qualitativa das áreas de *underbreak*, é possível mensurar quantitativamente o minério não recuperado. Todas as lentes de minério liberadas são originadas a partir do modelo geológico, portanto, elas são estimadas e são gerados modelos de blocos individualizados. Sendo assim, esses corpos (*Grade control*) são recortados pelas áreas lavradas (arquivo atualizado de topografia da cava) através do comando “selwf” no *software* Studio RM da Datamine, versão 1.7.1, restando apenas as áreas em *underbreak*. Em seguida, os blocos são cubados novamente, também no *software* Studio RM através do comando “wde”, resultando em massa e teor não recuperados para o *trade off* econômico e operacional de retomada desses minérios.

Portanto, é extremamente importante a agilidade do processo de análise, desde o levantamento topográfico até a cubagem dos *underbreaks*, para a tomada de decisão

estratégica de recuperação do minério, tendo em vista o ritmo dinâmico de uma operação à céu aberto.

O primeiro estudo de caso representa uma cava lavrada pelo ciclo de desmonte com explosivos (Cava Oeste), apresentando áreas com *underbreaks*. Compilando-se arquivos de *grade control* sobre a topográfica classificada pela aderência, é possível identificar corpos de minério (liberações) que não foram totalmente recuperados (Figura 6).

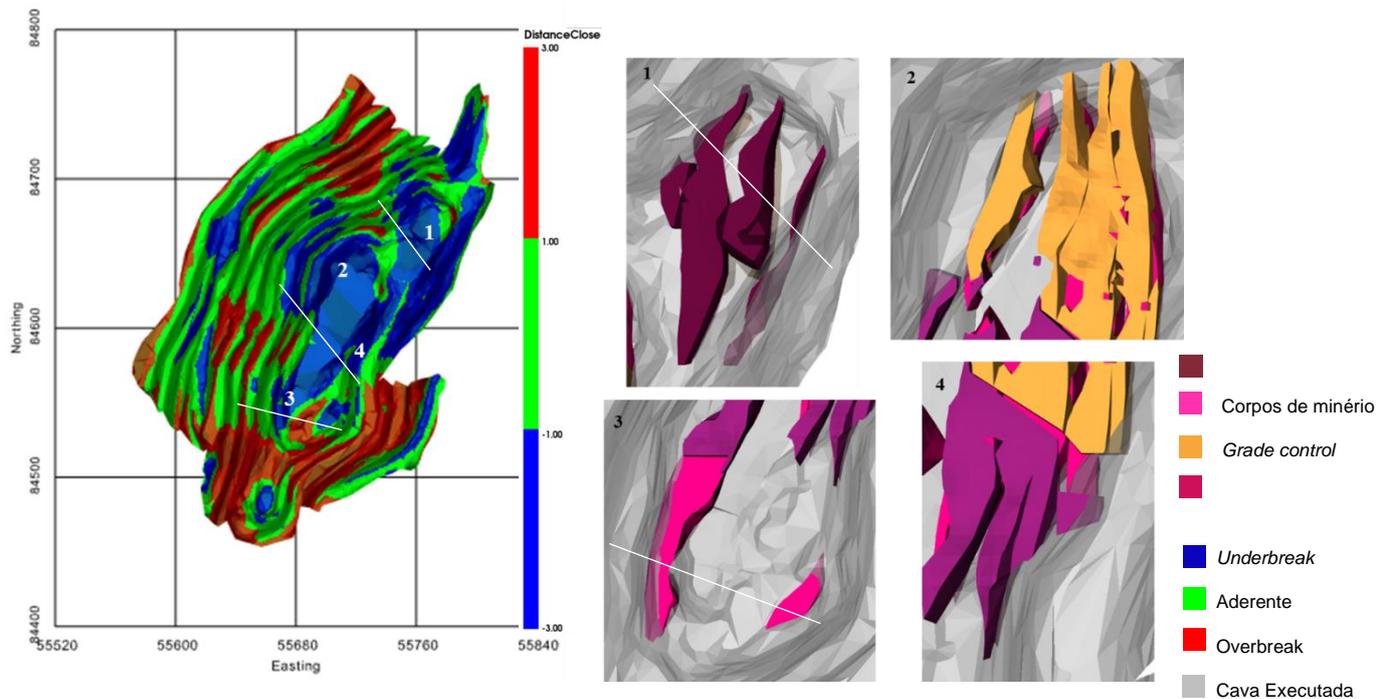


Figura 6. Aderência de lavra e posicionamento das lentes de minério - Seções críticas (Fonte própria).

Na região 1 da Figura 6, observa-se lentes de minério não recuperadas nos taludes ESE (leste-sudeste) e NW (noroeste), conforme seção em perfil abaixo (Figura 7). Além disso, identifica-se ausência de aderência ao longo de várias cotas, podendo comprometer a segurança da cava devido à forte inclinação de taludes e bermas estreitas. Para esse exemplo, o equívoco ao encaixar a rampa de acesso provocou a falta de aderência e *underbreaks* em minério.

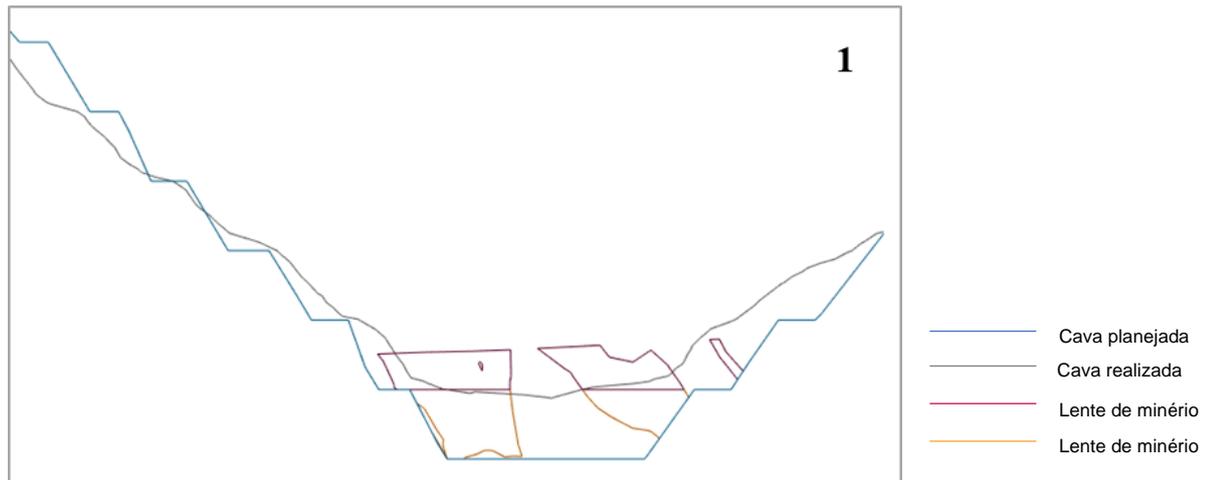


Figura 7. Região 1 - bermas estreitas e *underbreak* no minério (Fonte própria).

Na região 2 da Figura 66, identifica-se minério em *underbreak* à norte e à SSW (sul-sudoeste) da cava; na região 4 o minério encontra-se confinado no talude leste da imagem. Alguns fatores como qualidade do maciço e desmonte de baixa qualidade podem ocasionar diminuição da largura de berma, como ilustrado na sessão abaixo (Figura 8), que também representa os *underbreaks* mencionados.

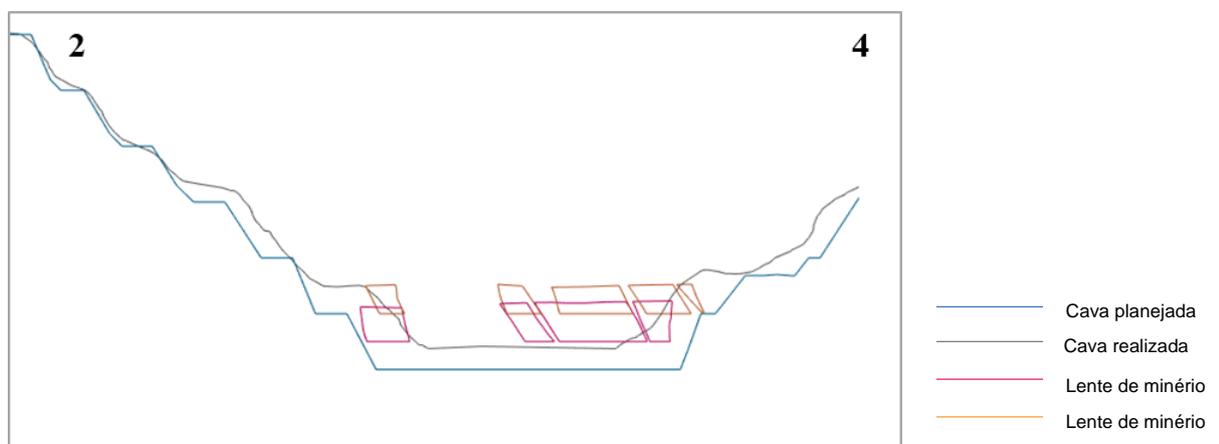


Figura 8. Região 2 e 4 - perda de berma no talude à esquerda, provocando *underbreak* no minério na cota inferior (Fonte própria).

Já na região 3 da Figura 66, os *underbreaks* em minério estão localizados no talude oeste e sudeste da cava. Percebe-se também, de forma qualitativa, a proporção de minério não recuperado na lavra (Figura 9).

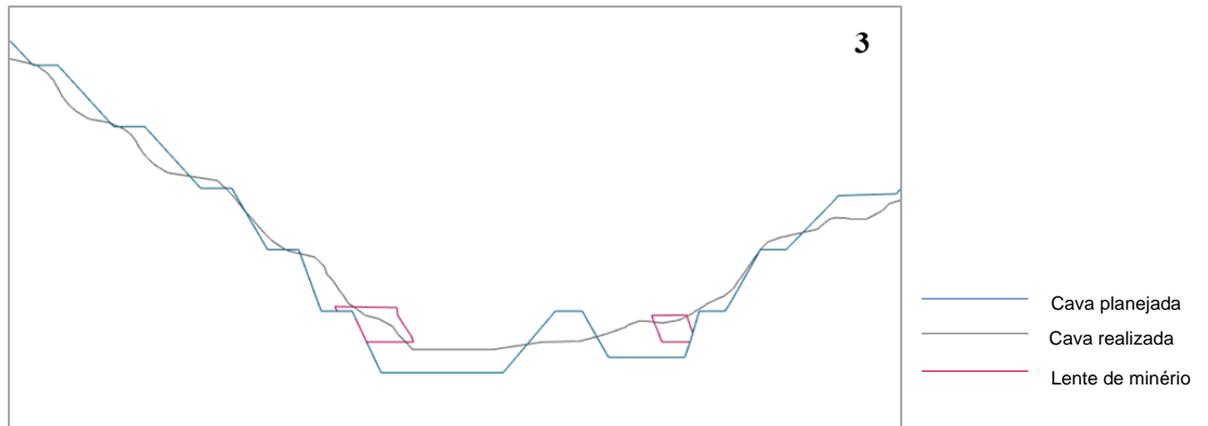


Figura 9. Região 3 - falta de aderência em taludes e bermas, ocasionando *underbreaks* em minério (Fonte própria).

A segunda cava avaliada (Cava Candeias) apresenta situação oposta à Cava Oeste, apresentando *overbreak* em taludes e bermas. Essa região de avanço da escavação adentra lentes mineralizadas no modelo geológico, conforme imagem abaixo (Figura 10).

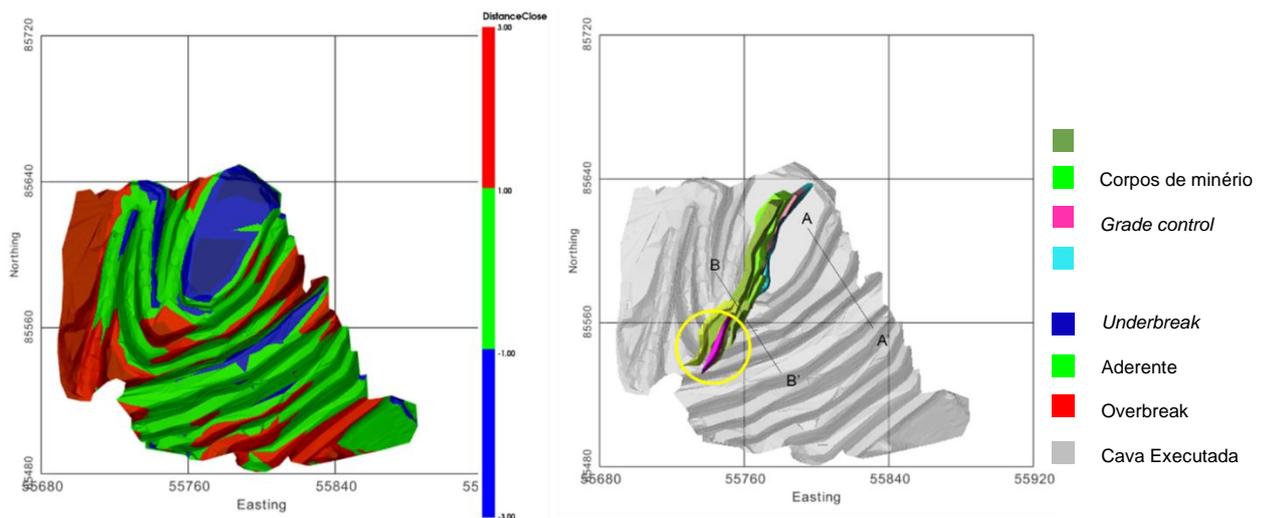


Figura 10. Aderência de lavra e lentes de minério - Região crítica (Fonte própria).

Além disso, observa-se discordâncias entre cava realizada e cava projetada, resultando em *overbreaks* e taludes com ângulos mais altos do que planejado em algumas cotas (Seções AA' e BB', Figura 11 e Figura 12).

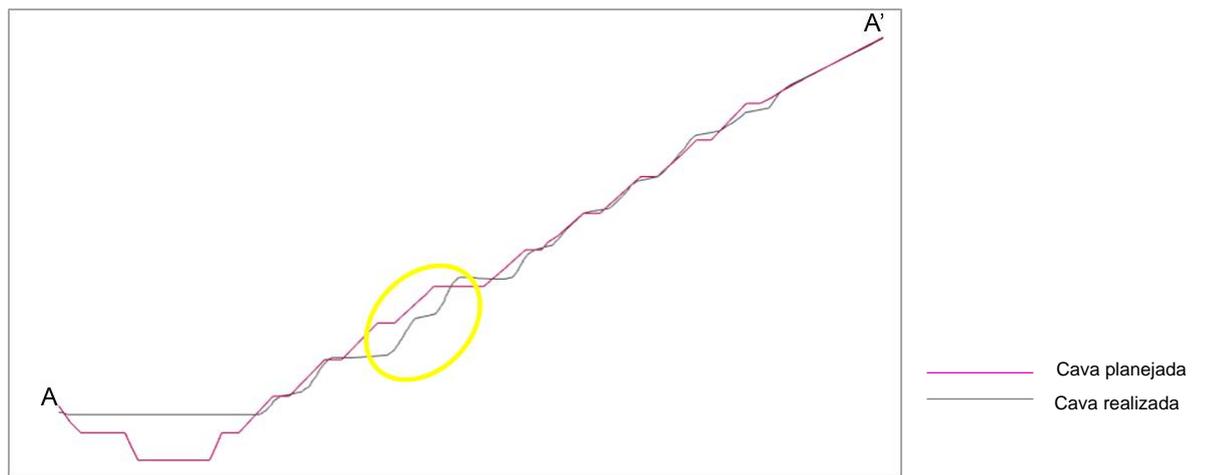


Figura 11. Seção AA' - região em discordância com o projeto (Fonte própria).



Figura11. Seção BB' - taludes com ângulos mais altos do que planejado e bermas estreitas (Fonte própria).

No terceiro caso, observa-se na Cava Cachorro Bravo regiões de *overbreak* em área não mineralizada (Figura12).

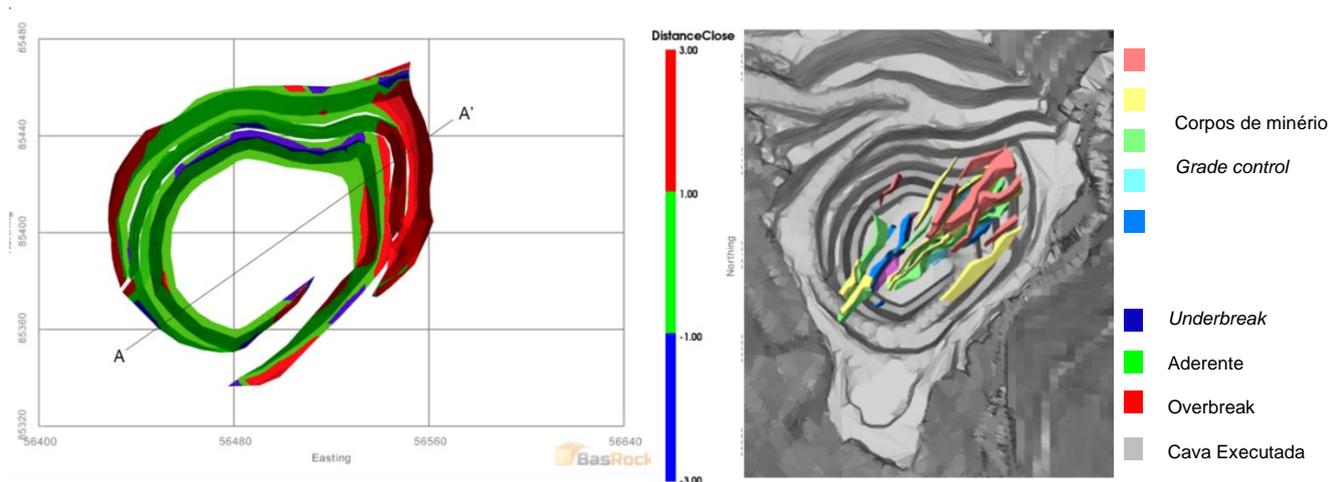


Figura 12. Aderência de lavra e lentes de minério - Região crítica (Fonte própria).

Na seção AA' (Figura 13), onde observa-se *overbreak* à nordeste da cava, não é identificado continuidade da mineralização, indicando que nesse caso a massa adicional escavada representa região de estéril, provendo diluição desses corpos de minério. Tal avaliação só é possível ao analisar o modelo geológico completo da área. Conforme imagem abaixo (Figura 13), o avanço da escavação promove taludes com ângulos mais suaves do que planejado, ilustrando a diluição operacional (*overbreak*).

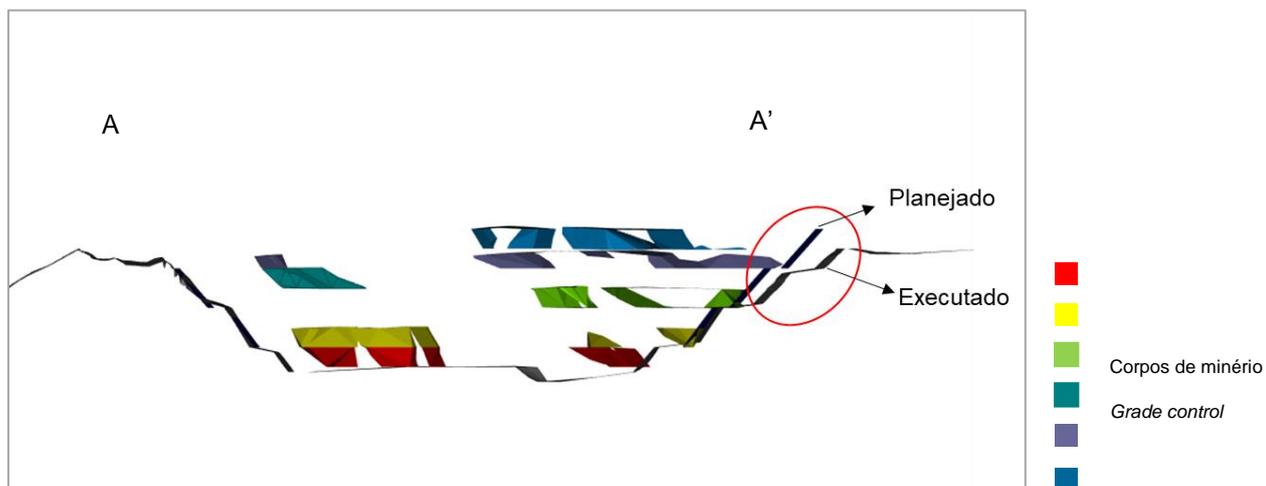


Figura 13. Seção AA' - região com discordância de projeto, exemplificando *overbreak* em estéril (Fonte própria).

CONCLUSÕES

A qualidade e aderência ao projeto são essenciais em qualquer mina, especialmente em um depósito aurífero. A análise de aderência se mostrou eficiente na avaliação e identificação de áreas com *overbreak* e *underbreak* e a relação dessas áreas com a perda de minério. Além

disso, é possível identificar regiões com viabilidade econômica e operacional para retomada dos minérios em *underbreak*.

Quando os corpos de minério lavrados não são levantados topograficamente e o controle da massa escavada ocorre pela quantidade/pesagem de viagens de caminhões, esse tipo de análise se torna imprescindível, pois uma situação de *overbreak* não representa necessariamente diluição do minério, como ocorreu na segunda cava avaliada. Nesse caso, o controle de massa minério/estéril e o controle de teor podem ser prejudicados por considerar uma diluição teórica.

Esse método de análise, porém, apresenta limitações pois dependente da qualidade do levantamento topográfico e a posição do corpo de minério em relação aos taludes finais da cava.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Lemos, M.G; Magalhaes, M.F; Souza, T.F.Q; Pereira, M.S; Vieira, M.M.S (2019). *Geometallurgical Analysis for Increasing Gold Recovery* – Santa Bárbara, MG, Brazil. *World Gold Conference* (2019).

Alkmim, F. F. (2020). Histórico das investigações estratigráficas, estruturais e geotectônicas do Quadrilátero Ferrífero. *In: Quadrilátero Ferrífero: Avanços do conhecimento nos últimos 50 anos* (2020). 3i Editora, 20 p.

Recursos Minerais de Minas Gerais, CODEMGE (2021). <http://recursomineralmg.codemge.com.br/substancias-minerais/ouro/>. Acessado em 07 de fevereiro de 2021.

Câmara, T. R. Sistematização do cálculo de diluição e perdas operacionais para reconciliação de teores e massas em lavra a céu aberto. 2013.89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.