

## **MECANIZAÇÃO DO TELAMENTO UTILIZANDO TELAS ELETRO-SOLDADAS NA MINA CUIABÁ**

Kennet Andesson Mendes da Silva, AngloGold Ashanti, KAsilva@anglogoldashanti.com

Felipe de Brito Pereira, Anglogold Ashanti, fbpereira@anglogoldashanti.com

Fraga, João Pedro Alves Fraga, Anglogold Ashanti, PFraga@AngloGoldAshanti.com

Rodrigo Padula, Anglogold Ashanti, ROPadula@AngloGoldAshanti.com.br

### **RESUMO**

Escavações em rochas subterrâneas profundas podem representar significativo desafio com relação à execução e manutenção dessas aberturas, devido à deformação do maciço rochoso por conta da alta concentração de tensões. A Mina Cuiabá, da AngloGold Ashanti, localizada em Cuiabá, devido a profundidade da Mina (aproximadamente 1350m), sofre com os danos ao maciço rochoso, tanto em áreas de desenvolvimento, quanto às de produção. O estudo apresentado neste trabalho está relacionado à necessidade e operacionalidade no que diz respeito à recomendação de inclusão do telamento como suporte de superfície deformável, aplicado a todas escavações abaixo do nível 17 da Mina Cuiabá, além da mudança do método de aplicação das telas eletrosoldadas se tornando totalmente mecanizado em 2021. Atualmente a equipe da mina Cuiabá já tela 404m lineares de galerias utilizando jumbos, um crescimento de mais de 300%.

Palavra Chave: Telamento Mecanizado; Mina Cuiabá; Jumbo; Deformação.

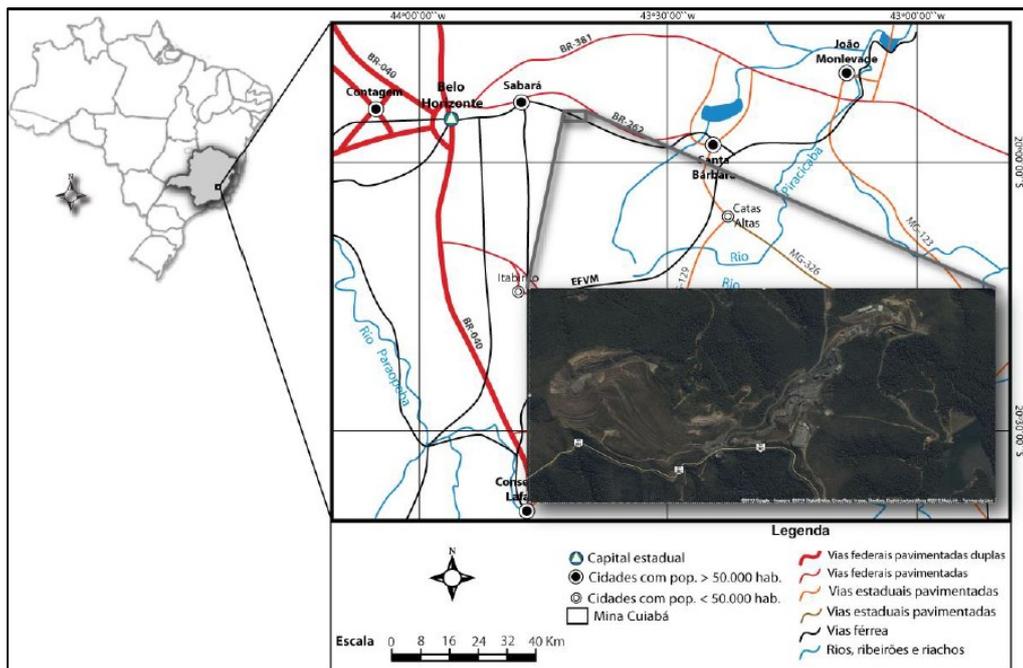
### **ABSTRACT**

Excavations in underground rocks can represent a significant challenge regarding the execution and maintenance of these excavations due to the deformation of the rock mass due to the high stress concentration. The Cuiabá Mine, of AngloGold Ashanti, located in Cuiabá, due to the depth of the Mine (approximately 1350m), suffers from damage to the rock mass, both in development and production areas. The study presented in this work is related to the need and operability regarding the recommendation to include mesh as a deformable surface support, applied to all excavations below level 17 of the Cuiabá Mine, in addition to the change in the application method of the electrowelded screens becoming fully mechanized in 2021. Currently, the Cuiabá mine team already mesh 404 meters of linear galleries using jumbos, a growth of more than 300%.

Keyword: Mechanized Meshing, Cuiabá Mine, Jumbo, deformation.

## Introdução

Este trabalho foi desenvolvido na mina subterrânea Cuiabá, pertencente à empresa AngloGold Ashanti, localizada em Sabará/MG (Figura 1). Atualmente é uma das minas mais profundas do Brasil em operação (Costa et al., 2019). Devido à profundidade da mina (próxima de 1350m), e a intensa redistribuição de tensões, danos no maciço rochoso se intensificam e afetam tanto áreas de desenvolvimento, quanto as de produção.



Escavações em rochas subterrâneas profundas podem representar significativo desafio com relação à execução e manutenção dessas aberturas, devido à deformação do maciço rochoso por conta da alta concentração de tensão (Potvin et al, 2008). Minas com essas condições têm dificuldades em manter as escavações abertas e operacionais e geralmente necessitam executar investimentos consideráveis com suporte e reforço, principalmente no que diz respeito à reabilitação dessas galerias (Mercier-Langevin et al., 2011).

Atualmente, novos níveis de tensão têm sido alcançados nas rampas da mina Cuiabá e consequentemente diferentes tipos de danos podem ser observados em profundidade (Padula et al., 2019).

O estudo apresentado neste trabalho está relacionado à necessidade e operacionalidade no que diz respeito à recomendação de inclusão do telamento como suporte de superfície deformável, aplicado na rampa Serrotinho (Rpa-SER), uma das principais rampas da mina Cuiabá.

## METODOLOGIA

### Desafios

Em escavações subterrâneas em rochas resistentes e anisotrópicas, as deformações são controladas principalmente pela presença de foliação e sua respectiva orientação em relação à direção de abertura da galeria (Karampinos et al, 2015). Conforme mostrado na Figura 2-a, as falhas induzidas por tensão tendem a ocorrer nas regiões onde a foliação é subparalela às paredes de escavação. Nessas regiões, há alta concentração de tensões de cisalhamento, o que leva à contração ao longo dos planos de foliação e dilatação no sentido ortogonal, em direção à abertura. Essa dilatação aumenta a deflexão dos planos de foliação, resultando no mecanismo de flambagem que leva a uma expansão do volume do maciço rochoso, mecanismo de ruptura denominado de *buckling* (Figura 2-b). Em alguns trechos da Rpa-SER também é possível observar uma ruptura total por cisalhamento do maciço rochoso causando uma convergência da escavação (Costa et. al., 2019).

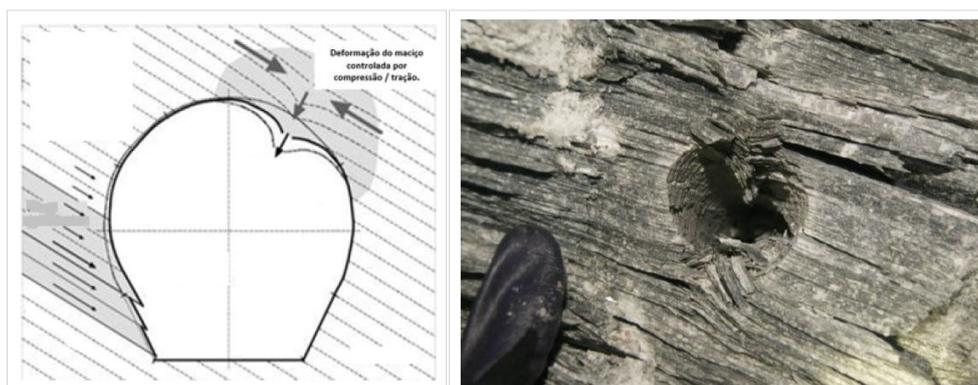


Figura 2: (a) Mecanismo de ruptura de escavações de maciços rochosos foliados (b) Mecanismo de *buckling* em um furo em uma rocha foliada na Mina Cuiabá (Pimenta, 2018).

O desenvolvimento da Rpa-SER é revestido por aplicação de concreto projetado dentro do ciclo operacional, com etapa final de aplicação de tirantes em malha padrão em cima do concreto projetado.

Um dos principais parâmetros que caracterizam a ruptura em rochas duras é o aumento da tensão, necessária para iniciar e propagar fraturas induzidas pela tensão que atua sobre rochas intactas, fraturadas ou firmemente fixadas. Devido ao acréscimo de tensão, as discontinuidades naturais estão sujeitas a confinamento e o processo de fraturamento é controlado por novas fraturas induzidas pelo aumento da tensão (Kaiser, 2006). Esse aumento promove deformação e danos na massa rochosa (Sandy et al, 2007), que transmite mais energia do que a capacidade de absorção do suporte ativo, levando à formação de rupturas e propagação de fissuras no concreto projetado.

Conforme Costa et. al (2019), o mecanismo de ruptura apresentado acima foi capaz de causar deslocamentos do maciço rochoso na ordem de 15cm e esse movimento ocasionou danos substanciais no suporte e reforço da mina de Cuiabá (Figura 3).



Figura 3: Danos no sistema de suporte observados no subsolo na rampa do Serrotinho – mina Cuiabá (Costa et. al, 2019).

Com o objetivo de construir um melhor entendimento dos motivos da ocorrência do dano no suporte e armadura ao longo do tempo foi estabelecida uma metodologia e realizado o mapeamento dos danos em uma das rampas principais de Cuiabá (Costa et. al, 2019).

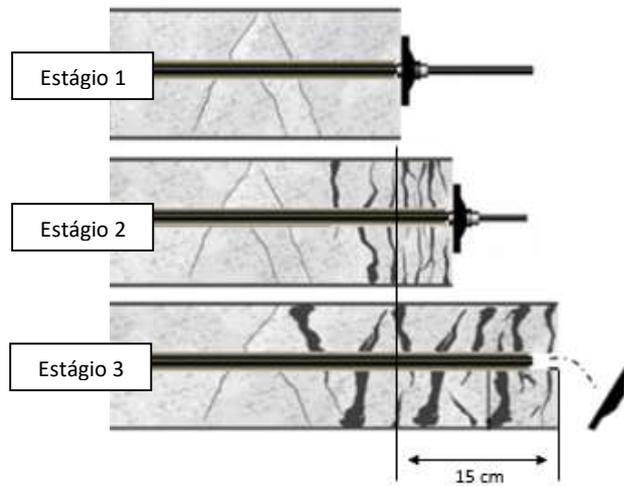
Diante dos desafios listados e estudados, verificou-se a necessidade de utilização de suporte de superfície deformável, aplicado sobre o concreto projetado, que contribuísse de forma eficiente na segurança e estabilidade das escavações em profundidade de áreas permanentes da mina Cuiabá. Dessa forma o Telamento tornou-se parte do ciclo operacional, sendo a tela aplicada posteriormente ao concreto projetado reforçado com tirantes.

### **Dimensionamento**

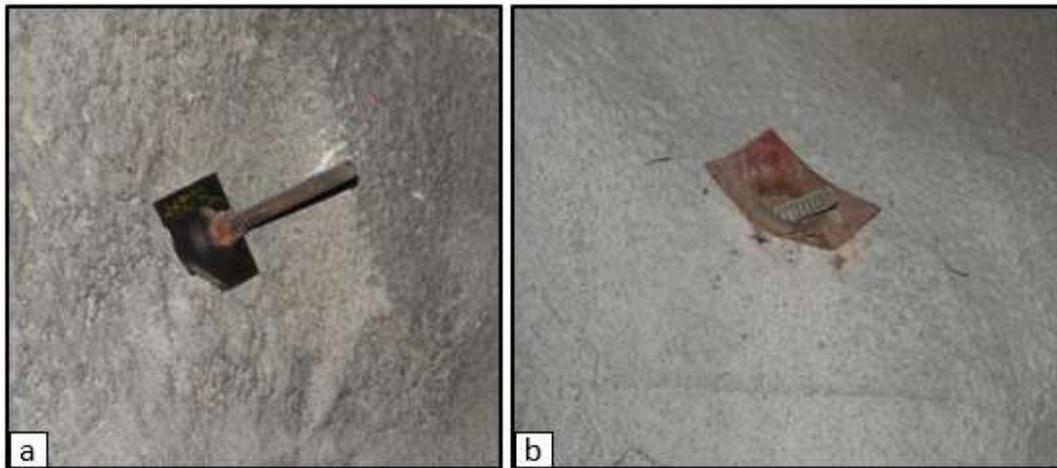
Para definir o tipo de suporte de superfície aplicado aos desenvolvimentos primários das regiões mais profundas da mina, foi realizado um dimensionamento considerando a deformação e a resistência ao carregamento da tela necessários nesses ambientes.

### **Deformação**

Através de monitoramento de convergência e observação das deformações das chapas dos tirantes, os deslocamentos máximos verificados em uma das rampas principais foram de cerca de 15 cm. Em alguns trechos da rampa foi possível observar o cisalhamento completo do maciço rochoso e a convergência das paredes levando a ejeção das chapas (Figura 4). A Figura 5 mostra o momento do início da deformação da chapa (Figura 5 – a) e o momento logo antes da ejeção (Figura 5 – b).



**Figura 4: Esquemático da deformação das paredes levando à ejeção da chapa.**



**Figura 5: Dano no Sistema de suporte observado nas paredes da Rampa Serrotinho. (a) Estágio inicial de deslocamento levando à deformação da chapa. (b) Estágio tardio de deslocamento levando à perda do domo e momento logo antes da ejeção da chapa.**

O tipo de suporte de superfície necessário foi definido, portanto, considerando a ordem de grandeza dos deslocamentos observados em campo. A Tabela 1 mostra os resultados de ensaios de carga estática com diferentes combinações de suporte e os resultados em termos de absorção de energia, carga máxima suportada e deformação máxima, apresentados por Louchnikov et al (2014). A combinação do concreto projetado reforçado com fibras (FRS) com a tela de aço soldada (WM) de 5,6 mm de diâmetro dos fios, instalada sobre o concreto, pode absorver até 21 cm de deslocamento, sendo considerada adequada para comportar os níveis de deformação observados na mina. Como é citado por Villaescusa (2013), ressalta-se que os testes apresentados na Tabela 1 foram executados em condições de contorno rígidas (Figura 6) e, caso os ensaios fossem executados em condições de contorno flexível, ancoragem com malha de tirantes por exemplo, o deslocamento máximo suportado pela WM sobre o FRS seria maior que 21 cm, o que significa que a tela poderia absorver um deslocamento ainda maior.

Type of surface support	Energy absorption per unit area (kJ/m <sup>2</sup> )	Peak load at failure (kN)	Maximum displacement at failure (mm)
FRS 60 mm, synthetic fibre	0.75	25	60
FRS 80 mm, synthetic fibre	2	65	80
FRS 110 mm with embedded WM	6	120	120
WM 100 × 100 × 5.6 mm	1.3	45	210
FRS 60 mm + WM over	2	45	210
FRS 80 mm + WM over	3.3	65	210
MINAX M85/2.7	1.7	55	185 <sup>a</sup>
TECCO G80/4	6	110	250 <sup>a</sup>
FRS 60 mm + MINAX M85/2.7	2	55	185
FRS 60 mm + TECCO G80/4	6.8	110	250
FRS 80 mm + MINAX M85/2.7	4	65	185
FRS 80 mm + TECCO G80/4	8	110	250
FRS 110 mm + TECCO G80/4	12	120	250
HEA mesh	2.5	160	800 <sup>b</sup>
Strap mesh	1.5	50	210

Tabela 1: Capacidades do sistema de suporte de superfície com base em testes de carga estática sob condições de contorno rígidas (Louchnikov et al., 2014).

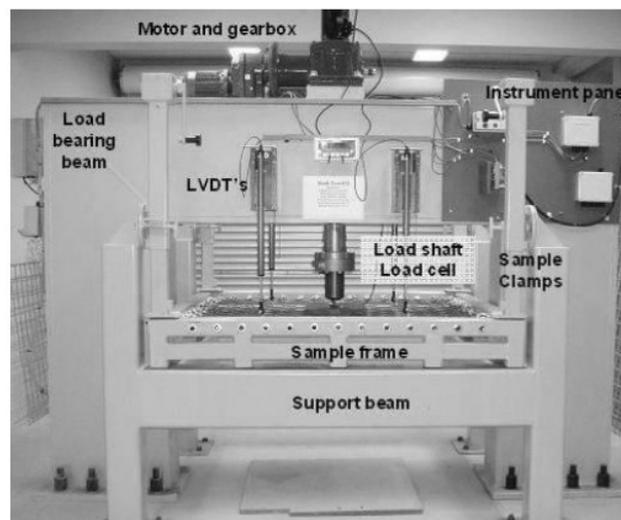
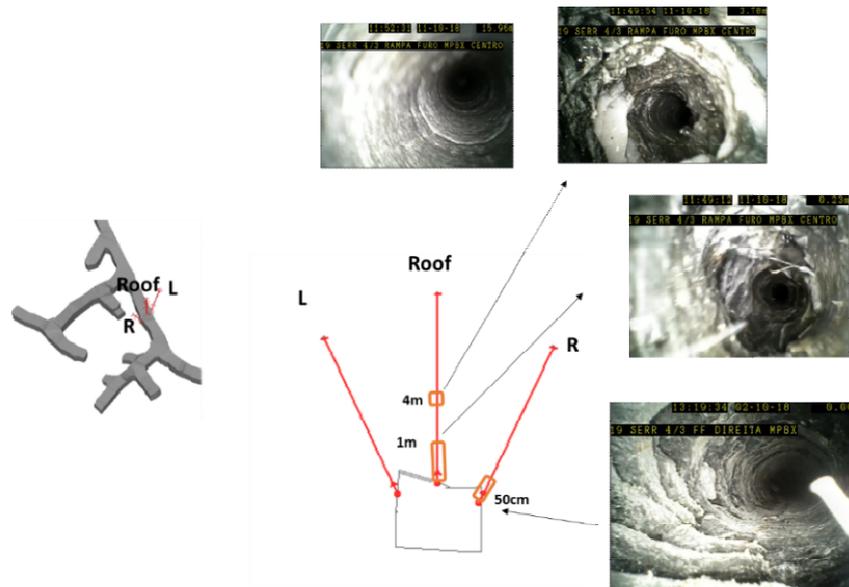


Figura 6: Instalação de teste de carga estática (Villaescusa et al., 2013).

## Carga

O dimensionamento considerando as cargas a serem suportadas pela tela foi baseado na profundidade das quebras observadas no maciço rochoso. Através do monitoramento de filmagem de furos, constatou-se que a extensão média da plastificação do maciço rochoso na rampa estudada foi em torno de 0,5 m a 1,0 m de profundidade, conforme mostrado na Figura 7.



**Figura 7: Zonas de plastificação do maciço observado no monitoramento de filmagem de furos (Costa et al. 2019).**

O valor de 1,0m de zona plastificada foi utilizado para calcular o volume de um bloco de rocha que carregaria a tela. As demais dimensões do bloco foram estimadas considerando o espaçamento de 1,2 x 1,2m da malha de tirantes utilizada na rampa. Dessa forma, considerando à densidade média das rochas presentes na mina de 2,7 t/m<sup>3</sup> e um empolamento de 30 %, estimou-se que os blocos entre malhas poderiam chegar a 3,0 toneladas.

O concreto projetado absorve a energia de deformação do maciço até a ocorrência de trincas e formação de placas de concreto e, a partir desse momento, a tela é responsável por suportar os blocos entre malha de tirantes. Sendo assim, foi considerado apenas as cargas suportadas pela tela, a partir dos resultados dos testes fornecidos por Louchnikov et al (2014). A Figura 8 mostra as curvas de deslocamento de carga de vários tipos de suporte de superfície, incluindo a tela de aço de 5,6 mm similar a tela utilizada na Mina Cuiabá. O gráfico indica que a maior carga alcançada para a tela é em torno de 45 KN, valor correspondente a um bloco de rocha de aproximadamente 4,5 toneladas. Dessa forma, como o maior bloco a ser suportado pela tela chegaria a 3,0 toneladas, concluiu-se que a tela de aço soldada de 5,6 mm levaria a um fator de segurança de cerca de 1,5 e foi considerada adequada para os níveis de plastificação do maciço verificados na mina.

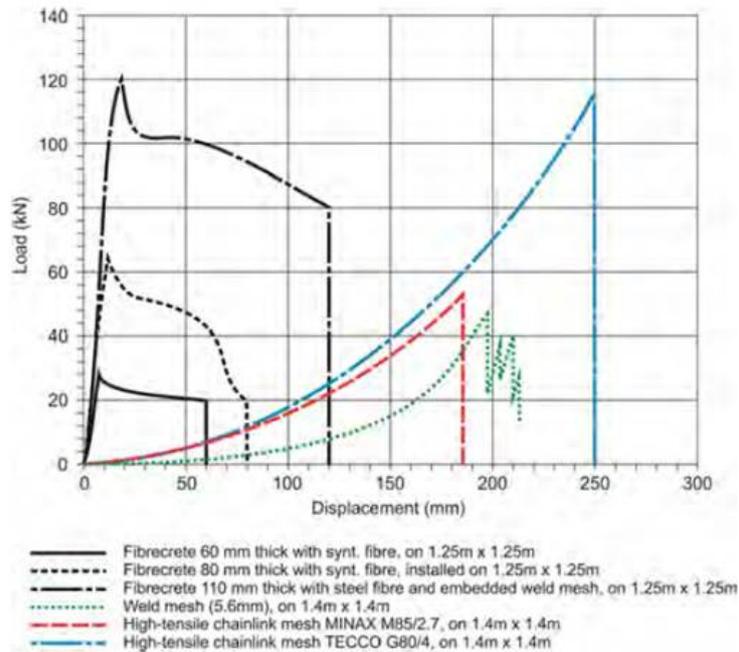


Figura 8: Capacidades de carga de diferentes sistemas de suporte (Louchnikov, 2014).

### Mobilização da operação

Após a definição do padrão de Telamento junto a equipe de mecânica de rocha, foram feitas as definições para se adequar a frota do desenvolvimento da Mina Cuiabá de forma a atender a capacidade de telamento mecanizado exigido pelos planos de produção. A linha do tempo para todo processo desde a definição do projeto, até a implementação dele, está exposto na figura a seguir:



Figura 9 – Agenda de implementação de telamento mecanizado com Jumbo na Mina Cuiabá.

Durante o início do ano de 2021, na mina Cuiabá, eram somente aplicadas telas manuais, utilizando plataforma elevatório e dois auxiliares de produção. A equipe com o auxílio da

plataforma elevava as telas e as travavam utilizando “mesh plates” nos tirantes presentes na galeria, como exposta na figura 10. Uma atividade de risco alto, devido à grande interação homem máquina e risco de desprendimento de blocos de rochas dos tetos das galerias sobre os colaboradores. Por exemplo, de 2016 a 2020, a Mina Cuiabá teve dezoito desprendimentos de rocha que resultaram em acidentes com pessoas, dentre eles, 90% ocorreram a menos de dez metros de frentes ativas, que são os locais onde a atividade de telamento são executadas (figura 11), mostrando a importância da mecanização.



Figura 10 – “mesh plate” para travamento das telas eletrosoldadas.

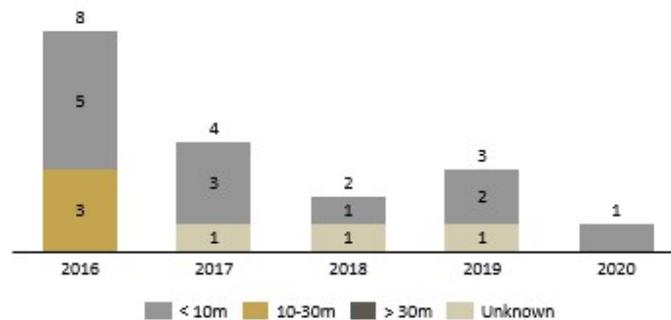


Figura 11 – Acidente com pessoas relacionado com a distancia de frentes ativas

Em 2021 surgiu uma diretriz corporativa com intuito de mecanizar a operação e para isso foram incrementados a frota mais dois Jumbos DD321 (Sandvik, 2020) (figura 12) para atender o dimensionamento realizado pela equipe de planejamento de mina. Esses Jumbos chegaram à unidade em abril de 2021, quando iniciou-se o treinamento operacional, dado que esse método nunca havia sido realizado em minas subterrâneas no Brasil.



Figura 12 – Chegada de dois Jumbos DD321i

Além disso, para impulsionar o colocação de telas mecanicamente, um representante australiano da AngloGold, com vasta experiência com Jumbos, veio ao Brasil multiplicar seu conhecimento com os operadores da Mina Cuiabá, o treinamento durou três meses, e nele foi possível formar uma equipe inicial de cinco operadores treinados, dos quais um se tornou multiplicador, logo, o treinamento continua em andamento. A técnica ensinada foi inovadora no Brasil. Hoje, em uma só manobra, o operador de jumbo consegue levantar três a quatro lances de telas (a tela utilizada na unidade tem as seguintes dimensões: 2,4 x 3,0m), desta forma, 2,1 metros lineares de galeria são telados com um só movimento, a figura 13 mostra uma galeria de desenvolvimento telada mecanicamente no padrão adequado.



Figura 13 – Galeria de desenvolvimento telada de forma mecanizada

O telamento iniciou em abril e desde então ele está em fase de crescimento operacional, em abril foram telados 44 metros lineares, no final de dezembro de 2020, a capacidade chegou 211 metros, mostrando um avanço de mais 300% como pode ser visto no gráfico 1. Além disso, a produtividade e qualidade do processo também continua em uma fase de crescimento, em janeiro de 2021 a produtividade já chegou a 2,7 telas/h, com target de 3,0 telas/h, como mostrado no gráfico 2.

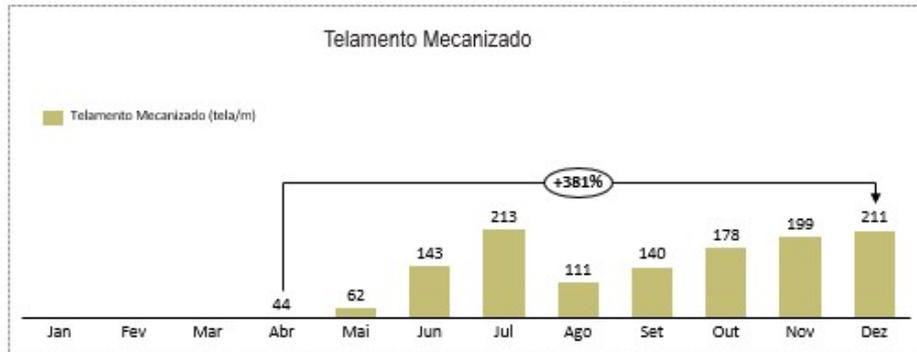


Gráfico 1 – Crescimento do telamento



Gráfico 2 – Crescimento da produtividade telamento.

A capacidade da operação como exposta anteriormente ainda se encontra em fase de “ramp up”, devido isso, não é capaz de atender a necessidade requerida pela equipe de Mecânica de Rochas, no qual todo desenvolvimento abaixo no nível 17 necessita a tela como suporte de superfície. Considerando o crescimento, a projeção para chegar à capacidade máxima está prevista para setembro de 2021, onde chegará a 714 metros de galerias teladas, como mostrado no gráfico 3. Para alcançar esse valor, foram definidos marcos, que são baseados em três principais pilares, pessoas (treinamento de toda a equipe operacional), equipamentos (adequação dos jumbos para o telamento mecanizado), qualidade e gestão (controle de informações e QA/QC), as etapas foram expostas na imagem 15.

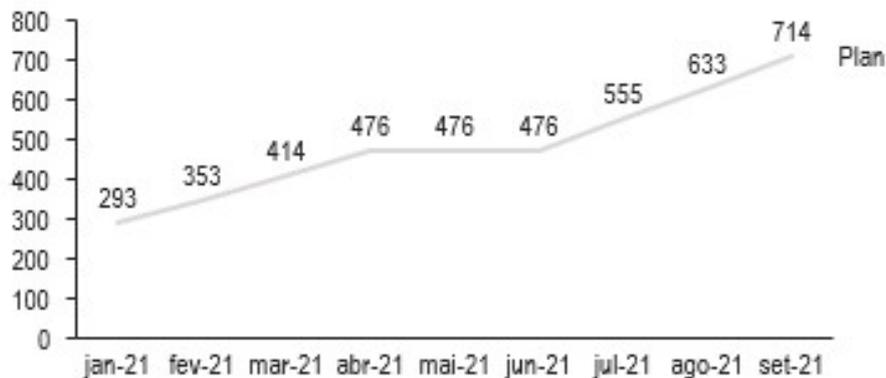


Gráfico 3 – Capacidade de Telamento Mecanizado



Figura 15 – Marcos do telamento mecanizado na mina Cuiabá.

## CONCLUSÃO

Devido o aprofundamento da Mina Cuiabá da AngloGold Ashanti, o telamento mecanizado se tornou uma atividade essencial no processo produtivo. Atualmente, a Mina está em crescimento operacional, com taxa de 211 metros de galerias teladas mecanicamente utilizando Jumbos, alcançada em dezembro de 2020. A previsão é que até setembro de 2021 todo desenvolvimento abaixo do nível 17 seja telado, chegando a uma taxa mensal de aproximadamente 714 metros lineares de galerias. O estudo retrata a dificuldade de implementação de uma atividade crítica em minas subterrâneas, principalmente em minas com profundidades elevadas onde a deformação do maciço rochoso é um fator crítico para o aprofundamento da mina. Além disso, com a mecanização do processo, a exposição dos trabalhadores presentes na Mina Cuiabá a desprendimento de rochas tende a reduzir, devido a diminuição da exposição do colaborador responsável pela aplicação manual, além da tela ser um suporte de superfície mais adequado para o maciço em análise.

## REFERÊNCIAS

Costa, LCB, Padula, RC, Pimenta, LMV, Pereira, RS & Peterle, DT 2019, 'Support and reinforcement damage initiation and design adjustments in a deep mine environment Case study: Cuiabá Mine, Minas Gerais, Brazil', in W Joughin (ed.), Proceedings of the Ninth International Conference on Deep and High Stress Mining , The Southern Africa Institute of Mining and Metallurgy , Johannesburg, pp. 97-108.

Louchnikov, V., Sandy, M., Watson, O., Orunesu, M., & Eremenko, V. (2014, March 24-26). An Overview of Surface Rock Support for Deformable Ground Conditions. 12TH AUSIMM UNDERGROUND OPERATORS CONFERENCE.

SANDVIK. Development drill rigs, c2021. Página inicial. Disponível em: <<https://www.rocktechnology.sandvik/en/products/underground-drill-rigs-and-bolters/mining-jumbos/dd321-development-drill-rig/>> . Acesso em: 01 de jan. de 2021.

Villaescusa, E., Thompson, A. G., & Player, J. R. (2013). Static and dynamic testing of welded and woven mesh for rock support. In Proceedings of the Seventh International Symposium on Ground Support in Mining and Underground Construction, Australian Centre for Geomechanics, Perth (pp. 187-196).