

LAVRA DE CARVÃO POR MÉTODO EM RECUO – ESTUDO DE CASO

Andre C. ZINGANO¹; Anderson L. WEISS²; Nilo SCHNEIDER³; Lucas RIGON⁴

¹UFRGS, andrezin@ufrgs.br; ²Carb. do Cambuí, anderson.weiss@carboniferadocambui.com.br; ³Carb. do Cambuí, nilo@carboniferadocambui.com.br; ⁴UFRGS, rigon.lucas@gmail.com

RESUMO

A mineração subterrânea de carvão pelo método de câmeras e pilares deixa uma boa quantidade de recurso mineral em forma de pilares. A recuperação do recurso pode variar de 60 a 25%. A lavra em recuo com recuperação parcial ou total de pilares foi aplicada no Brasil até o final dos 80, sendo abandonado devido a questões operacionais e de segurança. Entretanto, a questão de redução considerável de recursos e reservas, a introdução do minerador contínuo, novas tecnologias de lavra e melhor conhecimento do comportamento dos pilares e maciço de cobertura, o método de lavra em recuo está novamente em pauta. Esse trabalho apresenta um estudo de caso para aplicação do método de lavra por câmeras e pilares com recuo e recuperação parcial dos pilares em camada baixa. Testes de recuperação parcial dos pilares estão em andamento com monitoramento. Algumas geometrias de pilares foram testadas com utilização de desmonte por explosivo e foi estudado seu efeito sobre o pilar remanescente. Simulação e calibração de modelos numéricos foram utilizados para estudar o comportamento dos pilares dos testes de lavra em recuo. A superfície foi estudada em termos de possíveis danos e seus custos foram estimados. O controle total do comportamento do maciço em termos de movimento e sua progressão em relação ao tempo. Os resultados mostraram que o movimento do maciço de cobertura é lento e progressivo devido a relação largura/altura do pilar. A recuperação do recurso com a aplicação do método em recuo ficou em 75,7%, o que equivale a aumento da vida do empreendimento em quase cinco anos, além da melhoria de qualidade do carvão ROM e redução de custo da lavra e beneficiamento.

Palavras-chave: lavra em recuo, pilares, monitoramento, subsidência

ABSTRACT

The coal underground mining by room-n-pillar method left behind a great amount of coal resource in pillars. The mining recovery could vary from 60 to 25%. The room-n-pillar mining method in retreat with partial depillaring had been used in Brazil till the end of 80's, but was not using due to safety and operation issues. However, the depillaring and mining in retreat is beginning to come back as an alternative to push up the mining recovery, because the increasing of the knowledge of coal seam behavior and roof layers, the introduction of the continuous miner here in Brasil, new technologies in mining sequence. This work presents a case study for apply room-n-pillar mining in retreat and partial pillar recovery in low seam condition. Partial pillar recovery is undergoing with very high monitoring and instrumentation. Different pillar geometries for retreat mining was developed with blasting excavation method in panel test. Numerical models were using to simulate and study the behavior of the pillars and roof layers during the retreat operation. The surface had been studied to prevent possible structural damage, estimate its cost, and time effect. The results has been shown that the rock mass movement is very slow with time, mainly due to the pillars are low height and high width/high ratio. The mining recovery is about 75.7%, which means the live time of the mine increases more 5 years, also the coal ROM quality increased, and lower mining and preparation plant costs.

Key-Words: retreat mining, pillar design, monitoring, subsidence

1 INTRODUÇÃO

A mineração subterrânea de carvão pelo método de câmeras e pilares deixa uma boa quantidade de recurso mineral em forma de pilares, os quais são estruturas de contenção para o suporte

natural do maciço de cobertura. A recuperação do recurso pode variar de 60 a 25%, dependendo da profundidade e altura da camada de carvão, bem como da resistência da camada de carvão e da relação largura/altura do pilar.

A lavra em recuo com recuperação parcial ou total de pilares foi aplicada no Brasil até o final dos 80, sendo abandonada devido a questões operacionais e de segurança. Entretanto, a redução considerável dos recursos e reservas, novas tecnologias e sequência de lavra e melhor conhecimento do comportamento das camadas de carvão (pilares) e maciço de cobertura, o método de lavra em recuo está novamente em pauta.

Esse trabalho apresenta um estudo de caso para aplicação do método de larva por câmeras e pilares com recuo e recuperação parcial dos pilares. Estão em execução testes de recuperação parcial dos pilares com instrumentação de convergência, variação de carga nos pilares e subsidência.

Algumas geometrias de pilares foram testadas com utilização de desmonte por explosivo e seu efeito sobre o pilar remanescente. Simulação e calibração de modelos numéricos foram utilizados para estudar o comportamento dos pilares dos testes de lavra m recuo. A superfície foi estudada em termos de possíveis danos e seus custos foram estimados. O controle total do comportamento do maciço em termos de movimento e sua progressão em relação ao tempo e possíveis danos na superfície é importante para que a decisão de realizar recuo ou não.

2 LAVRA EM RECUE

Na lavra de carvão por meio do método de câmaras e pilares pode haver dois estágios. O primeiro é o desenvolvimento do painel de produção e o segundo a lavra em recuo com recuperação parcial ou total dos pilares (Peng, 2007). A segunda parte pode ou não ser aplicada dependendo de algumas condições de contorno da jazida como: profundidade e estado de tensões, espessura da camada de carvão, rigidez do teto imediato, equipamentos disponíveis, segurança da equipe, etc.

O desenvolvimento ocorre por meio de escavação de galerias e travessas (câmaras) e pilares são deixados para que o teto e maciço rochoso de cobertura tenha sustentação. Se a produção de carvão é atingida no desenvolvimento e o recuo não é utilizado, o painel encerra sua produção é selado para não haver problemas de segurança.

A primeira questão fica em aberto porque os pilares são formados por carvão. Quanto maior o pilar

menor é a recuperação de carvão final no painel.

O problema fica na segurança dos pilares. Então, uma forma de recuperar o carvão deixado nos pilares seria recuperar esses pilares durante operação em retrocesso, onde boa parte do pilar seria recuperado e a recuperação da jazida aumenta.

Existem várias variações para a recuperação de pilares (Peng, 2007; MSHA Manual, ____), sendo uma das mais aplicadas aqui no Brasil nos 70 e 80 em SC e RS o método de espinha de peixe (*christmas tree*) e o corte em 'L' ou em 'CRUZ' das paredes dos pilares. Naquela época o desmonte ocorria por meio de explosivos (lavra convencional) e o carvão juntado manualmente ou por meio de carregadeira.

Em algumas minas, o melhor exemplo foi no PR, foi aplicado o que chamavam de *longwall* ou *shortwall* manual, no qual o carvão era desmontado com explosivo em uma parede comprida e o carvão era carregado manualmente ou por meio de rastelo ou calha de arraste (*panzer*). Em algumas minas, a recuperação poderia chegar 80-90% dentro do painel de lavra.

A lavra em recuo, em princípio, tem algumas vantagens, como: maior produtividade devido a velocidade das operações e eliminação de algumas operações unitárias e menor custo principalmente porque não é aplicado escoramento de teto nas escavações ou gavetas nos pilares. Entretanto, há algumas questões de segurança quando a velocidade das operações não é suficiente e questão de subsidência, principalmente, se recuperação dos pilares for acima de 50% da área plana do pilar.

Atualmente, a lavra de carvão utilizando operação de recuo e recuperação de pilares não é permitida devido a inúmeros problemas que ocorreram no passado, sendo esta restrição iniciada no final dos anos 80.

Recentemente, o assunto lavra em recuo voltou a ser conversado pelas empresas e grupos de pesquisa, ao quais foram motivados por uma questão muito importante: o carvão é uma fonte de energia estratégica para o Brasil e a recuperação da lavra nas minas subterrâneas está muito baixa, em alguns casos, menos que 30%. Isto significa que boa parte da energia disponível está ficando abandonada em forma de pilares. A baixa recuperação na lavra tem consequência imediata que é a menor vida útil das minas. Então, se a vida das minas é menor, mais minas novas devem ser abertas em curto espaço de

tempo. Isso reflete em custo muito alto para as empresas e consequências ambientais.

Em 2009 foi desenvolvido projeto em parceria entre SIECESC e Fundação Luiz Englert para utilização do rejeito do beneficiamento como backfill como alternativa de desenvolvimento de nova metodologia de lavra em recuo. Desta forma o backfill seria o material para aumentar o confinamento e a resistência do pilar remanescente e criar condições de segurança para as operações de lavra em recuo utilizando o minerador contínuo (Zingano et al., 2010, 2011; Zingano, 2013).

A chegada do minerador contínuo em SC por volta de 2005 também foi motivo para rever as metodologias e métodos de lavra junto com o backfill. Esse equipamento é amplamente utilizado em mineração de carvão no mundo e facilitou a operação de recuperação de pilares devido sua alta produtividade e velocidade de corte.

No estado do PR, a camada de carvão tem pequena espessura, logo apresenta mecanismos e comportamentos particulares para o projeto de pilares (Zingano, 2015). Zingano (2015) apresentou um teste realizado na mina da Carb. do Cambuí, no qual demonstrou que a resistência da camada e o comportamento de pilares de pequena espessura permitiam a redução do tamanho de pilares em função da razão largura/altura do pilar, mesmo com aparente FS abaixo do mínimo estabelecido pelas metodologias de projeto de pilares.

A Carb. do Cambuí, devido ao seu histórico de operações de lavra em recuo, tomou a decisão de realizar uma pesquisa sobre lavra em recuo e recuperação parcial dos pilares. Esse projeto é uma parceria entre a Carb. do Cambuí e a Fundação Luiz Englert. Este trabalho apresenta os resultados conseguidos até o momento para este projeto.

Neste trabalho são apresentados os resultados dos testes de campo e simulações numéricas e empíricas com relação a redução do pilar na lavra em recuo.

3 PAINEL TESTE

O primeiro teste que foi realizado nesse projeto foi um painel com redução do tamanho dos pilares de 7x9m para 6x5 e 5x5m (Zingano, 2015). A figura 1 mostra a geometria do painel teste e o desenho entre os pilares projetados e pilares reais. Os pilares para

a mina 8 foram projetados para 7x9m para uma profundidade de 130m (Tabela 1). A tabela 2 o FS estimado para os pilares reduzidos no painel teste para uma resistência da camada de 5.2MPa.

Figura 1 – Desenho do painel teste.

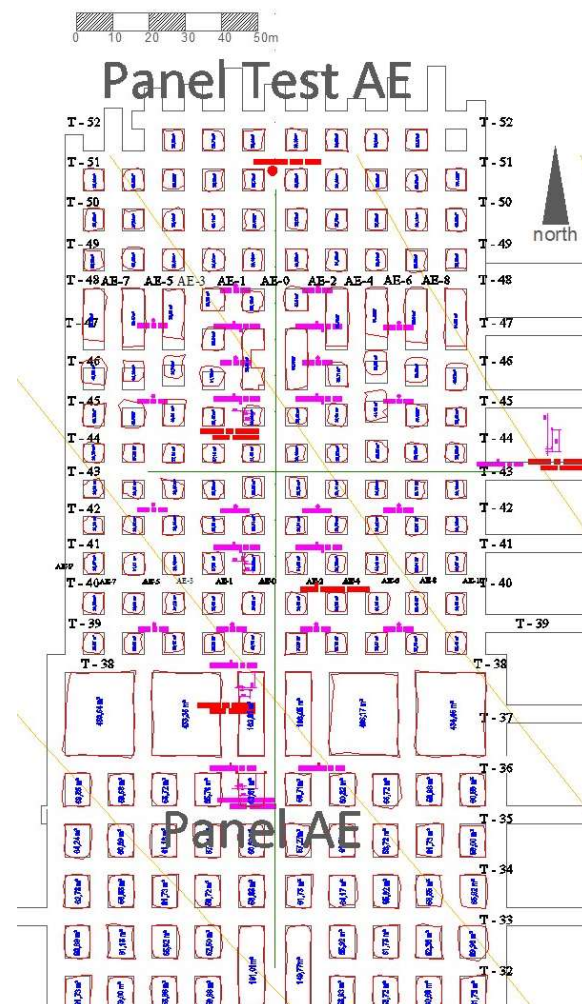


Tabela 1 – Resistência e FS para pilares (7x9m) no painel de lavra para 130m de profundidade

Camada $\sigma_c = 5.3\text{MPa}$	ARMPs	Salamon	Cientec
Resist. Pilar (MPa)	14,8	10,5	10,3
Fator Segurança	1,6	1,2	1,2

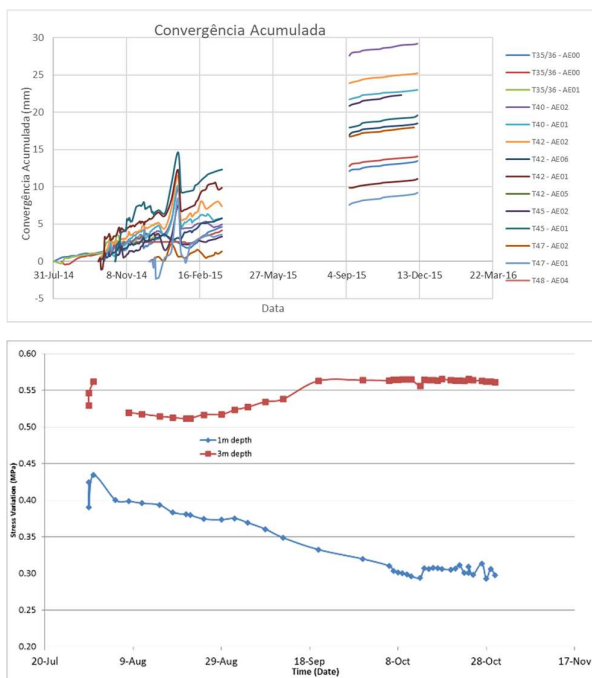
Tabela 2 – Resistência e FS para pilares (6x5m) no painel teste para 130m de profundidade (média dos pilares reais)

Camada $\sigma_c = 5.3\text{MPa}$	ARMPs	Salamon	Cientec
Resist. Pilar (MPa)	11,3	8,9	8,4
Fator Segurança	0,8	0,6	0,6

O teste iniciou em agosto de 2014 e foi encerrado em dezembro do mesmo ano devido a baixa espessura da camada de carvão. O monitoramento foi realizado até fevereiro de 2015, mas ainda ocorre vistoria mensal no local do teste, cujos pilares estão estáveis e não há mais sinal de progressão de dano aos pilares.

A figura 2 mostra as leituras de convergência ao longo do painel teste e a variação da pressão no pilar barreira central que divide o painel de produção do painel teste. Pode-se observar que houve aumento da carga no pilar barreira no início do teste e posterior estabilização da pressão com o tempo. Com a convergência houve aumento da convergência nas primeiras linhas de pilares com picos significativos de acomodação do maciço. Em janeiro houve um pico de convergência notado em todos extensômetros, mas houve novamente estabilidade após essa acomodação. A subsidência é medida a cada dois meses e não há variação de cota na superfície.

Figura 2 – Gráfico de convergência no painel teste e gráfico de variação de pressão no pilar barreira.



Esse teste mostrou que os pilares têm resistência maior que o estimado para a camada de carvão. A retro análise mostrou que a resistência da camada de carvão deve ser de 6.2MPa

(Zingano,2015).

Um modelo numérico 3D, utilizando o programa Plaxis 3D v.3, foi montado para simular o comportamento dos pilares e convergência do teto, o qual foi calibrado a partir das medidas de convergência. As figuras 3 e 4 mostram a geometria e os resultados, respectivamente. Nesse modelo foram utilizadas as propriedades mecânicas a partir da retro análise.

Figura 3 – Gometria do modelo 3D.

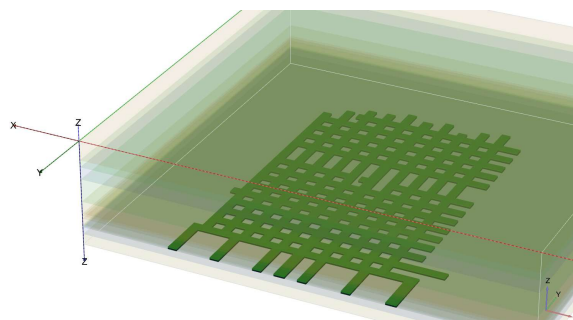
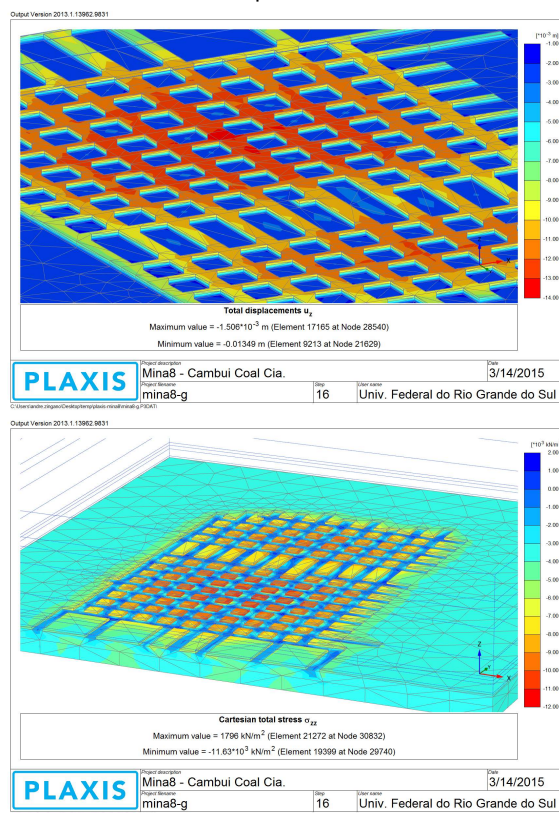


Figura 4 – Deslocamento do teto e pressão vertical nos pilares.



4 LAVRA EM RECUO

Em função dos resultados apresentados no teste acima, o grupo de pesquisa decidiu fazer testes de lavra em recuo e recuperação parcial dos pilares.

Os testes foram realizados com critérios de segurança extrema de forma que houvesse riscos de acidentes em subsolo e na superfície acima do painel teste. Na superfície houve o cuidado para não ter construções ou qualquer estrutura que possa ser prejudicada com a subsidência. Também foram instalados marcos topográficos para monitoramento de movimento da superfície.

Em subsolo, foram instalados extensômetros ao longo do eixo do painel e o painel foi dividido por pilares barreira para impedir a progressão da ruptura, caso ocorresse.

A lavra em recuo na mina 8 tem como condições de contorno: (i) recuperar apenas a camada de carvão; (ii) o limite está na perfuração, 2m; (iii) não utilizar escoramento secundário.

Os objetivos para a lavra em recuo para a empresa são exatamente as vantagens do uso desse método:

- Ter uma lavra com aumento de qualidade do ROM, somente recuperando a camada de carvão;
- Redução do custo de lavra por não utilizar escoramento de teto (parafusos) e redução da mão de obra;
- Maior recuperação de carvão e recuperação da jazida e aumento da vida útil da jazida

O teste de foi realizado nos painéis AD e BD onde a espessura de cobertura é por volta de 100-120m e os pilares dimensionados conforme a metodologia proposta na tabela 1 (pilares 7x9m e 1,3m de altura).

Duas geometrias de recuperação de pilares foram planejadas, conforme a figura 5. A fatia a ser retirada dos pilares foi limitada em 7m de comprimento e 2m de largura ou fundo, o qual foi limitado apenas a camada de carvão, logo a altura do corte foi em média 0,7m. Essa geometria poderia facilitar o carregamento do carvão pelo scoope.

O primeiro teste foi com corte na lateral maior do pilar (Figura 5). A figura 6 mostra o modelo numérico 3D dessa geometria, no qual nitidamente há maior concentração de tensões verticais no canto

próximo onde houve a recuperação do carvão. Isto porque o lado menor ficou em 5m de lado.

Figura 5 – Geometrias propostas para a lavra em recuo e recuperação parcial dos pilares.

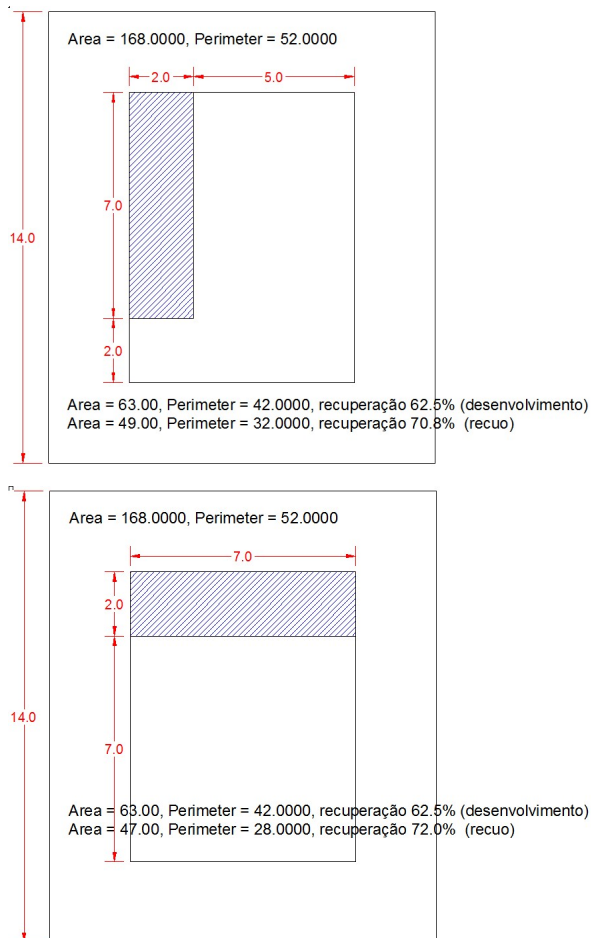


Figura 6 – Modelo numérico para simular o corte lateral do pilar e foto de um pilar.

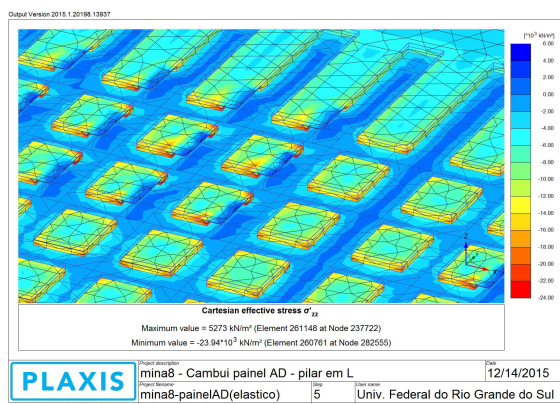
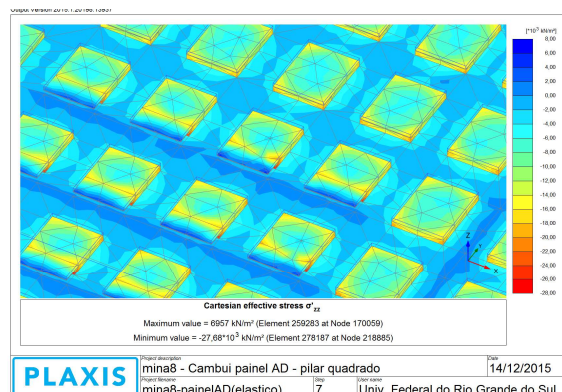




Figura 7 – Modelo numérico para simular o corte frontal do pilar e foto de um pilar.



O segundo tipo de corte (Figura 5) deixa o pilar depois da recuperação com 7x7m. A figura 7 mostra o resultado do modelo numérico com distribuição de tensão vertical melhor distribuída dentro do pilar, não pontos de maior concentração de tensão vertical. Portanto, o pilar teria maior estabilidade e maior resistência mesmo após a recuperação parcial. O FS de segurança calculado para o pilar depois da lavra em recuo ficou em 1,5, por meio do método ARMPs.

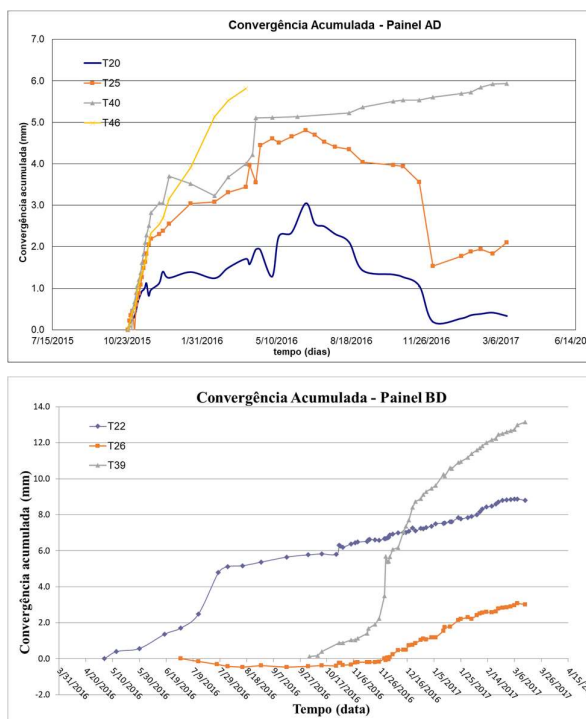
A primeira geometria foi utilizada apenas nas últimas linhas no painel AD. Devido às questões operacionais, foi decidido alterar para a segunda geometria (Figura 5). Os painéis AD e BD foram os painéis testes para a segunda opção de geometria para a recuperação de pilares.

A lavra em recuo ocorreu após o desenvolvimento completo dos painéis e o recuo se realiza do fundo do painel para a frente. A recuperação dos pilares ocorreu em linhas de pilares e o recuo da linha seguinte somente ocorria após o carregamento de todo carvão da linha anterior. Cada linha de pilares possui 10 pilares e todos eram furados e detonados no mesmo turno.

Extensômetros foram instalados nesses dois painéis (Figura 8). Esses extensômetros foram instalados ao longo da galeria central dos painéis. Pode-se observar que os extensômetros apresentam baixa taxa de convergência e ocorre mudança na taxa de convergência devido a lavra em recuo. Isso ocorre devido a acomodação do maciço de cobertura causada pela redução do tamanho do pilar. Após essa acomodação registrada pelos extensômetros, a taxa de convergência reduz e tende para a estabilidade (tendência de a linha ficar na horizontal).



Figura 8 – Convergência para os painéis AD e BD.



Os pontos de medidas de subsidência na superfície não mostraram movimento algum até o momento. Isso é explicado pelos extensômetros em subsolo nos painéis. Depois da lavra em recuo há uma acomodação do maciço e tendência de estabilização ou redução da taxa de convergência.

Há maior convergência e taxa de convergência nos painéis testes, comparado

Nos painéis acima, a simulação de produção para a lavra em recuo de todo painel, i.e., a recuperação de todos os pilares, ficaria em torno de 40% da produção durante o desenvolvimento.

O custo calculado nos testes de lavra em recuo considerou a redução de pessoal, material e suprimentos. A redução de custos para a lavra em recuo em relação ao desenvolvimento do painel ficou em média de 50% do custo do desenvolvimento.

Outro fato importante é a qualidade do carvão ROM. Como na lavra em recuo apenas a camada de carvão é retirada, não há contaminação do siltito do realce. O rendimento no lavador aumentou em 3-5% em média para um mês de produção, passando de 45-50% para 55%. Se o apenas o carvão vindo da lavra em recuo for beneficiado, o rendimento no lavador é maior, por volta de 60%.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

Os resultados mostraram que o movimento do maciço de cobertura é lento e progressivo devido a relação largura/altura do pilar ser maior que 3, onde os pilares fazem o seu papel de controlador do movimento do maciço.

A expectativa de subsidência na superfície depende da espessura e profundidade da camada, sendo no estudo de caso menor que 75% da espessura da camada.

A recuperação do recurso com a aplicação do método em recuo ficou em 75,7% (teórico), contra 62,5% sem recuo. Isso equivale a aumento da vida do empreendimento em quase cinco anos (esses números devem ser corrigidos).

Esse tipo de estudo é importante para viabilizar investimentos em equipamentos para aumento de produtividade e redução do custo de lavra e beneficiamento, porque na fase de recuo o custo do carvão ROM reduz em 40% e o rendimento do beneficiamento aumenta em aproximadamente 20%.

A consequência imediata é menor volume de rejeito na planta e melhor qualidade do carvão.

As próximas etapas desse projeto são: (i) estudar a redução do pilar remanescente em função da ação do explosivo e vibração no interior do pilar; (ii) simulação e planejamento da lavra em recuo com objetivo de aumentar a recuperação para 80% da camada de carvão dentro do painel; (iii) simulação da subsidência e efeito em superfície; (iv) simulação da lavra em recuo com uso do minerador contínuo.

6 REFERÊNCIAS

ZINGANO, A., Projeto de Recuperação de Pilares. Fundação Luiz Englert, **Não Publicado**, 2016.

ZINGANO, A, GOMES, C., COSTA, J., KOPPE, J., Study of the behavior for backfilling material in room-and-pillar coal mining In: ICGCM, 29th Int. Conf. on Ground Control in Mining, 2010, Morgantown. ICGCM, 29th Int. Conf. on Ground Control in Mining. Morgantown: Morgantown Printer, p.348-352, 2010.

ZINGANO, A, GOMES, C., COSTA, J., KOPPE, J., Numerical Modeling of Pillar Confinement with Backfilling Material in Room-and-Pillar Coal Mining In: ICGCM, 30th Int. Conf. on Ground Control in Mining, 2011, Morgantown. ICGCM, 30th Int. Conf. on Ground Control in Mining. Morgantown: Morgantown Printer, 2011.

ZINGANO, A., Projeto de lavra em recuo para a mina Lauro Muller, Carb. Belluno. Fundação Luiz Englert, **Não Publicado**, 2013.