

LAVRA DE CARVÃO PELO MÉTODO CÂMARAS E PILARES EM RECUO – ESTUDO DE CASO

ANDERSON LUIS WEISS^{1*}, NILO SERGIO BARNETCHE SCHNEIDER², ANDRÉ CEZAR ZINGANO³

¹MSc. Eng. de Minas, Carbonífera do Cambuí Ltda, Figueira-PR, anderson.weiss@carboniferadocambui.com.br;

²MSc. Eng. de Minas, Carbonífera do Cambuí Ltda, Figueira-PR, nilo@carboniferadocambui.com.br;

³PhD. Eng. de Minas, Prof. Pesquisador UFRGS, Porto Alegre-RS, andrezin@ufrgs.br;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017
8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil

RESUMO: A mineração subterrânea de carvão pelo método de câmaras e pilares deixa uma boa quantidade de recurso mineral em forma de pilares. 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 larva por câmaras e pilares com recuo e recuperação parcial dos pilares em camada baixa. Testes de recuperação parcial dos pilares foram realizados e monitorados. Simulação e calibração de modelos numéricos foram utilizados para estudar o comportamento dos pilares durante os testes de lavra em recuo. 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: carvão, lavra em recuo, pilares, monitoramento.

COAL MINING WITH ROOM-N-PILLAR METHOD IN RETREAT –CASE STUDY

ABSTRACT: The coal underground mining by room-n-pillar method left behind a great amount of coal resource in pillars. 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. Numerical models were using to simulate and study the behavior of the pillars and roof layers during the retreat operation. 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: coal, retreat mining, pillar design, monitoring.

INTRODUÇÃO

A mineração subterrânea de carvão pelo método de câmaras 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 câmaras e pilares com recuo e recuperação parcial dos pilares. Testes de recuperação parcial dos pilares foram realizados com instrumentação de convergência, variação de carga nos pilares e subsidência.

A geometria de pilar remanescente foi simulada por modelos numéricos 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.

MATERIAL E MÉTODOS

Na lavra da camada de carvão mineral (camada plano horizontal), 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. A segunda parte pode 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) com uso de explosivos e pilares são deixados para que o teto e maciço rochoso de cobertura tenham sustentação. Quanto maior o pilar menor é a recuperação de carvão final no painel. Uma forma de recuperar o carvão deixado é lavrar esses pilares durante operação em retrocesso, onde parte do pilar seria extraída e a vida útil da jazida conseqüentemente aumenta.

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.

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 conseqüência 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 conseqüências ambientais.

No estado do Paraná, 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 Carbonífera 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.

O primeiro teste realizado em 2014 foi em um painel com redução do tamanho dos pilares de 7x9m para 6x5 e 5x5m (Zingano, 2015). Os pilares para a Mina PI-08 da Carbonífera do Cambuí foram projetados para 7x9m para uma profundidade de 130m (Tabela 1). A tabela 2 apresenta o FS estimado para os pilares reduzidos no painel teste para uma resistência da camada de 5,3MPa.

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

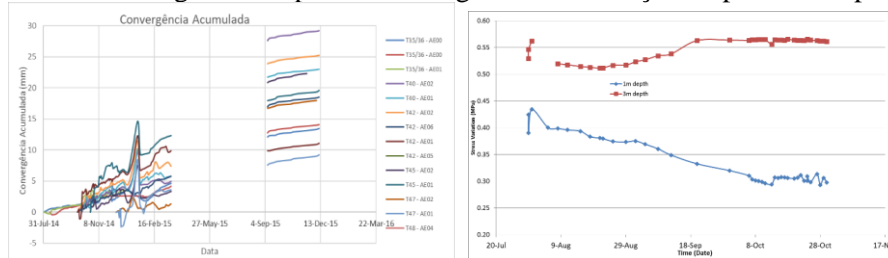
Camada $\nabla_c = 5,3\text{MPa}$	ARMPS	Salamon	Cientec
Resistência Pilar (MPa)	14,8	10,5	10,3
Fator Segurança	1,6	1,2	1,2

Tabela 2. Resistência e FS para pilares (6x5m) no painel teste para 130m de profundidade.

Camada $\nabla_c = 5,3\text{MPa}$	ARMPS	Salamon	Cientec
Resistência Pilar (MPa)	11,3	8,9	8,4
Fator Segurança	0,8	0,6	0,6

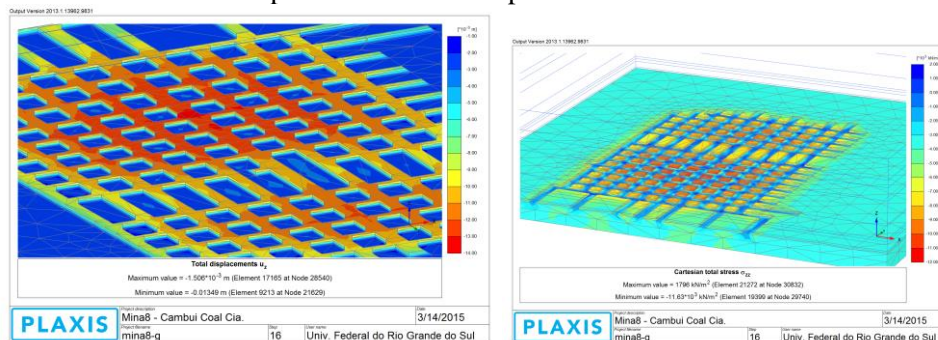
A figura 1 mostra as leituras de convergência ao longo do painel teste (esquerda) e a variação da pressão no pilar barreira central (direita) que divide o painel de produção de produção do painel teste. Pode-se observar que houve aumento da carga no pilar barreira no início do teste e posterior estabilização 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 1. 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. Os modelos da figura 2 mostram os resultados desta simulação. Nesse modelo foram utilizadas as propriedades mecânicas a partir da retro análise.

Figura 2. Deslocamento do teto e pressão vertical nos pilares.



Em função dos resultados satisfatórios, obtidos a partir deste teste, 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 não 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 ocorreu após o desenvolvimento completo dos painéis e o recuo se realiza do fundo do painel para 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.

A lavra em recuo na Mina PI-08 tem como condições de contorno: (i) recuperar apenas a camada de carvão; (ii) o limite está na perfuração/desmonte de 2m do pilar; (iii) não utilizar escoramento secundário.

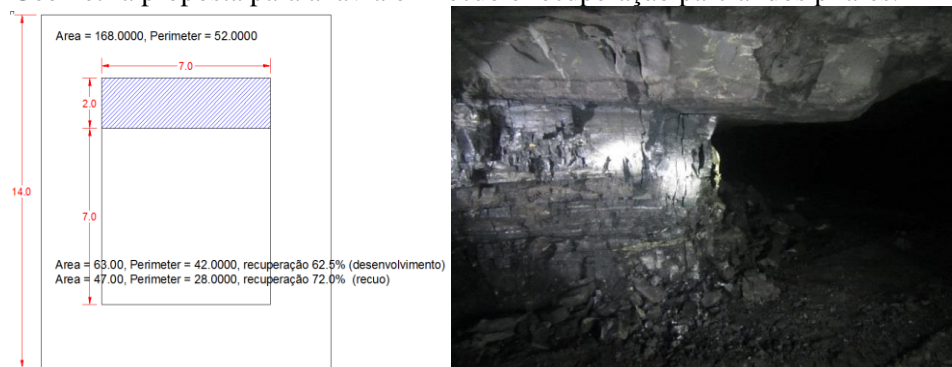
Os objetivos da lavra em recuo são exatamente as vantagens do uso desse método:

- ↯ 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 e redução da mão de obra;
- ↯ Maior recuperação de carvão e recuperação da jazida e aumento da vida útil da jazida.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

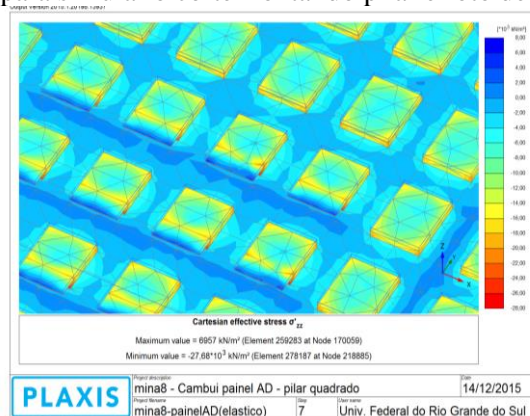
O teste piloto foi realizado nos painéis AD e BD da Mina PI-08 onde a espessura de cobertura é por volta de 100-120m e os pilares dimensionados conforme a metodologia proposta na tabela 1 (pilares 7x9m e 1,3m de altura). A fatia a ser retirada dos pilares foi limitada em 7m de comprimento e 2m de largura (Figura 3) o qual foi limitado apenas a camada de carvão, logo a altura do corte foi em média 0,8m. Essa geometria deixa o pilar depois da recuperação com 7x7m o que facilita o carregamento do carvão pela carregadeira *Scoop*.

Figura 3 – Geometria proposta para a lavra em recuo e recuperação parcial dos pilares.



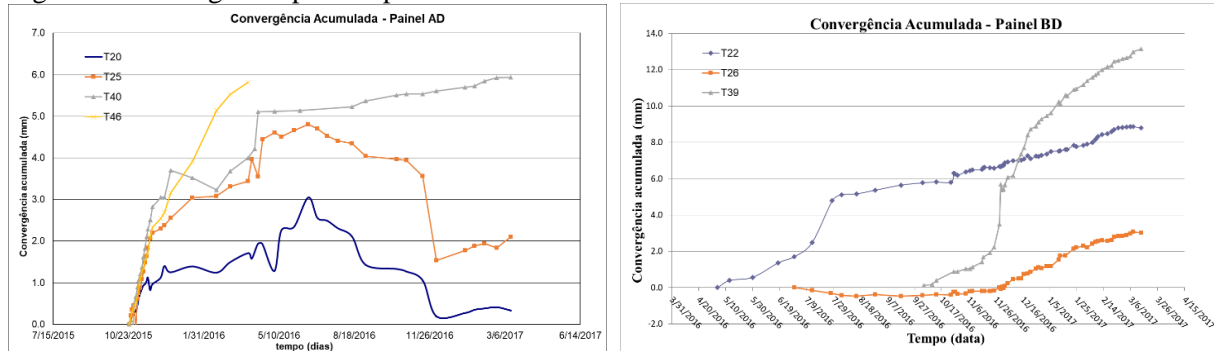
A figura 4 mostra o resultado do modelo numérico com distribuição de tensão vertical melhor distribuída dentro do pilar, não pontos de maior concentração de tensão vertical. Portanto, o pilar teria maior estabilidade e maior resistência mesmo após a recuperação parcial. O FS de segurança calculado para o pilar depois da lavra em recuo ficou em 1,5, por meio do método ARMPS.

Figura 4. Modelo numérico para simular o corte frontal do pilar e foto de um pilar.



O monitoramento dos extensômetros instalados ao longo da galeria central nos dois painéis geraram gráficos de deformação do maciço ao longo do tempo (Figura 5). 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 5. Convergência para os painéis AD e BD.



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%.

CONCLUSÃO

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 e da jazida deste bem mineral não renovável (Carvão Mineral) em quase 5 anos.

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 em questões ambientais é o menor volume de rejeito na planta de beneficiamento e melhor qualidade do carvão a ser utilizado na geração de energia.

REFERÊNCIAS

- Zingano, A.C; Gomes, C.; Costa, J. F.; 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, Morgantown-WV, 2010.
- Zingano, A.C; Gomes, C.; Costa, J. F.; 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, Morgantown-WV, 2011.
- Zingano, A. C. Projeto de lavra em recuo para a mina Lauro Muller. Fundação Luiz Englert, Não Publicado, 2013.
- Zingano, A. C. Projeto de Recuperação de Pilares. Fundação Luiz Englert, Não Publicado, 2015.