

ESTUDO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA E DA VIABILIDADE AMBIENTAL DE UM CONCRETO COM UTILIZAÇÃO DE REJEITOS DE CARVÃO PARA DISPOSIÇÃO EM SUBSOLO (“BACKFILL”)

Cesar Bussolo – cebussolo@yahoo.com.br

UFRGS - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais –
PPGE3M
90650-001 – Porto Alegre - RS

Ivo André Homrich Schneider – ivo.andre@ufrgs.br

UFRGS - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais –
PPGE3M

André Cezar Zingano – andrezin@ufrgs.br

UFRGS - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais –
PPGE3M

Resumo: O melhor aproveitamento das jazidas de carvão mineral do sul de Santa Catarina, operadas em subsolo, é de grande relevância principalmente pela questão econômica e a disponibilidade do bem mineral. A dificuldade de abertura de novas minas, principalmente por restrições ambientais e estruturais, é outro aspecto que define a importância de se estudar o assunto. O emprego de rejeitos da mineração de carvão como preenchimento de galerias mineradas (“Backfill”) melhora o desempenho estrutural dos pilares, diminui significativamente os efeitos de subsidência em superfície e é uma alternativa viável à disposição superficial em depósitos que demandam grandes áreas e controles ambientais onerosos. No presente estudo foram desenvolvidos traços de concreto com a utilização de rejeitos de mineração de carvão, agregados miúdos e cimento, moldados corpos de prova e submetidos a ensaios de compressão uniaxial. Nos corpos de prova em que se verificaram os melhores resultados de resistência, foram realizados também ensaios estáticos de predição de DAM pelo método de contabilização de ácidos e bases. Por final, buscou-se neste trabalho, equacionar as componentes de resistência mecânica e eficácia ambiental com a viabilidade econômica da disposição de rejeitos em subsolo.

Palavras-chave: Backfill. Rejeitos de carvão. Resistência mecânica. Meio ambiente.



STUDY OF THE MECHANICAL STRENGTH AND ENVIRONMENTAL VIABILITY OF A CONCRETE USING COAL WASTE FOR UNDERGROUND DISPOSITION - BACKFILL

Abstract: The best use of the mineral coal deposits in the south of Santa Catarina, operated underground, is of great relevance mainly due to the economic issue of the availability of the mineral asset. The difficulty of opening new mines, mainly due to environmental and structural restrictions, is another aspect that defines the importance of studying the subject. The use of coal mining waste to fill in mined galleries (Backfill) improves the structural performance of pillars, significantly reduces the effects of subsidence on the surface and is a viable alternative to surface disposal in deposits that require large areas and costly environmental controls. In the present study, concrete mixes were developed using coal mining waste, fine aggregates and cement. Different concrete traces were molded and the specimens subjected to uniaxial compression tests. In the specimens in which the best resistance results were observed, static DAM prediction tests were carried out using the Acid Base Accounting (ABA) method. Finally, this work sought to equate the components of mechanical resistance and environmental effectiveness with the economic viability of disposing of waste underground.

Keywords: Mechanical Resistance. Mechanical strength.

1. INTRODUÇÃO

A atividade de mineração de carvão faz parte da história da região sul de Santa Catarina, tanto pelo desenvolvimento econômico quanto pelos impactos ambientais. Nas primeiras décadas, havia poucos critérios técnicos para a atividade extrativa, inexistindo o cuidado com o meio ambiente. Os métodos de extração iniciaram a céu aberto e, posteriormente, passaram a ocorrer também em subsolo.

Na lavra subterrânea, até o final dos anos 80, utilizava-se o método de câmara e pilares com mineração em recuo (recuperação), onde eram lavrados parte dos pilares que davam sustentação à mina, causando assim o abatimento do teto e desencadeando processos de subsidência muitas vezes com reflexos na superfície. Na década de 90, este método com recuperação de pilares foi proibido pelo então Departamento Nacional de Produção Mineral (atual Agência Nacional de Mineração) em Santa Catarina e deixou de ser utilizado. As minas de subsolo então passaram a adotar o método de câmaras e pilares sem recuperação dos pilares, ficando os mesmos com as dimensões com os quais haviam sido projetados, servindo como estrutura de sustentação da mina.

As características do carvão lavrado em subsolo dessa região demandam o seu beneficiamento, principalmente em função do alto teor de cinzas e pirita. Os processos mais empregados são a jigagem e ciclones de meio denso, sendo que ambos exigem o uso de água. Os rejeitos resultantes do beneficiamento foram e ainda são, em sua grande maioria, dispostos em superfície.

Hoje o cenário mostra-se diferente para a mineração de carvão. Legislações e normas técnicas e ambientais específicas estão vigentes, os métodos de lavra são mais eficientes e os empreendimentos mineiros de carvão estão sujeitos à criteriosa análise pelos órgãos de controle e pela sociedade. Dessa forma, a abertura de novas minas de carvão tem se mostrado muito mais complexa, levando as empresas a aperfeiçoar cada vez mais os métodos de lavra e o beneficiamento do minério. Também a disposição dos rejeitos passou a ter maior controle, minimizando a poluição dos recursos hídricos e atmosférica.

Sendo classificado como um resíduo não perigoso, porém não inerte, o rejeito de carvão tem sido disposto em depósitos impermeabilizados com argila compactada e recoberto com vegetação herbácea. Este método tem se mostrado eficiente, porém um dos pontos negativos desta técnica refere-



se à responsabilidade do empreendedor pela manutenção de longo prazo do depósito, uma vez que o selamento empregado não poderá ser rompido.

Outra metodologia de destinação de rejeitos chama-se “backfill”, onde o material é transportados de volta para o subsolo por meio de bombeamento (“pastefill”) ou por correias (“rockfill”) para preenchimento das galerias. Apesar de mundialmente conhecido, nem todas as empresas carboníferas da região sul de Santa Catarina a utilizam e também não há um procedimento padronizado adotado. A finalidade é a diminuição da quantidade de rejeitos em superfície e um reforço estrutural da mina para minimizar eventuais abatimentos do teto e redução e/ou impedimento da diminuição da seção de pilares causado pela queda progressiva das laterais mantendo os fatores de segurança originais dos pilares.

Neste contexto, o objetivo do presente estudo foi estudar a resistência mecânica de diferentes traços de concreto com o uso de rejeitos grossos de carvão grosso com vistas à disposição em subsolo. Os dois melhores traços obtidos foram caracterizados em relação ao seu potencial de geração de drenagem ácida e também em relação ao custo associado.

2. “BACKFILL” – ESTADO DA ARTE

Na engenharia de minas, “backfill” refere-se a qualquer resíduo que é colocado nos vazios subterrâneos (“stopes”) para fins de descarte ou para realizar alguma função de suporte. O material utilizado para preencher os vazios criados pela mineração precisam apenas ter coesividade suficiente para evitar qualquer forma de remobilização por meio de liquefação, normalmente causada por carregamento dinâmico. No entanto, onde essa técnica é aplicada como material de suporte, é necessária resistência mecânica suficiente para garantir a estabilidade durante a mineração (GRICE, 1998). A utilização de “backfill” é comum em muitos países. A Polônia, África do Sul, Canadá, Estados Unidos, entre outros países, utilizam essa técnica há muitos anos (SIECESC, 2009). Técnicas de mineração de carvão com uso de “backfill” também têm sido desenvolvidas na China para controlar subsidência de superfície, podendo efetivamente melhorar as taxas de recuperação e a segurança da mina (CHANG, et al., 2014).

Entre as vantagens da utilização dessa tecnologia estão a melhoria da estabilidade da mina, diminuição dos riscos de caimentos e redução de depósitos em superfície. Um dos principais problemas geomecânicos de minas subterrâneas de carvão é a fragmentação dos pilares: após determinado período de tempo, os pilares passam a apresentar um perfil cônico, além de grande fraturamento e baixa resistência. Cerca de 50% da área superior original do pilar é perdida, acumulando-se como material no piso da galeria (SIECESC, 2009).

Os tipos de “backfill” podem ser divididos em duas grandes categorias, cimentados ou não cimentados. No método cimentado, geralmente inclui uma pequena dosagem de aglutinante pozolânico, como cimento, cinzas volantes, entre outros materiais para melhoria da resistência. Isso inclui preenchimentos do tipo: rocha cimentada, agregados cimentados, hidráulicos cimentados e de pasta. Os preenchimentos com agregados não cimentados podem ser na forma de preenchimentos hidráulicos, preenchimentos de rocha e preenchimentos de areia. “Backfill” não cimentados, como o nome sugere, não usam nenhum agente de ligação misturado com o material de enchimento. O comportamento mecânico e o desempenho de aterros não cimentados podem, portanto, ser estudados usando teorias da mecânica do solo. O “backfill” hidráulico não cimentado é o mais comum em todo o mundo (RANKINE et al., 2007).

De acordo com Meng Li et al (2020), a utilização de rejeitos de carvão e outros resíduos como material de “backfill” pode conciliar os objetivos de enfrentar os problemas ambientais ao mesmo tempo em que se promove o controle de subsidências em minas subterrâneas de carvão, tornando o processo mais sustentável. Kostecki e Spearing (2015) concluíram em seu estudo que um aumento de 10 a 40% na resistência do pilar e na capacidade de carga final pode ser esperado quando um preenchimento coesivo é usado entre 25 e 75% de preenchimento da altura lavrada, respectivamente. Os estudos realizados por Chugh (2002) demonstraram que é possível utilizar, na composição do “backfill” subprodutos do carvão mineral (cinzas provenientes da queima e rejeito fino



ou grosso proveniente do beneficiamento de carvão). Estes estudos demonstram que a utilização da técnica proporcionou o confinamento dos pilares de carvão e minimizou os deslocamentos verticais em superfície e subsolo, além de não existir registros de contaminação ambiental.

Na região de Criciúma, ocorreram diversos casos de ruptura e colapso de pilares, como o colapso na Mina São Geraldo e na Mina União nos anos 80. Em 2002 e 2003, houve o colapso de pilares em minerações na camada Bonito; na Mina Barro Branco da Indústria Carbonífera Rio Deserto e na Mina Bonito da Carbonífera Castelo Branco. Em 2003, ocorreram dois colapsos de pilares na Mina-3 da Cooperminas, na camada Barro Branco (Zingano, 2003).

No sul de Santa Catarina, Heemann e Costa (2008) realizaram experimentos na Mina Bonito da Carbonífera Catarinense utilizando preenchimento hidráulico de galerias de subsolo com o uso de pasta mineral, cimento e cinzas volantes dispostos por meio de tubulação. Realizaram as operações de “rockfill” e “pastefill”. Inicialmente, a empresa havia adotado um projeto composto por muros de contenção e barramento com o próprio material encontrado no local. Hoje, o sistema foi simplificado e passou a utilizar “hydraulicfill” não cimentado e barramentos. Este é disposto em áreas com declividade que permitam a sedimentação dos finos com captação por bombeamento a jusante do ponto lançamento.

De forma semelhante, as minas 101 e Cruz de Malta localizadas em Içara e Treviso, respectivamente, da Indústria Carbonífera Rio Deserto, também operam o “backfill”. Entretanto, na mina Cruz de Malta, além do “Hydraulicfill” também se realiza o “Rockfill” com rejeitos grossos. Após processo de beneficiamento do carvão o rejeito acumulado do pátio do beneficiamento é direcionado via furo de sonda para um silo no subsolo. O rejeito segue via correia transportadora até o caminhão adaptado LHD. O caminhão descarrega o rejeito nas galerias do subsolo e em seguida é acomodado com a utilização de uma pá-carregadeira, preenchendo todo o espaço vazio. Após a finalização da deposição em uma determinada área, são construídas paredes de alvenaria de modo a fechar as galerias de acesso àquele local, evitando a entrada de oxigênio onde o rejeito granular foi disposto (Carbonífera Rio Deserto, 2023).

3. EXPERIMENTAL

Neste estudo, foram utilizados rejeitos grossos (R4) resultantes do processo de beneficiamento de carvão na Mina Fontanella da Carbonífera Metropolitana, que opera na camada de carvão Bonito, localizada na cidade de Treviso, Santa Catarina. A empresa adota a designação R4 por possuírem menor quantidade de enxofre em sua composição. Os resíduos foram coletados seguindo procedimentos estabelecidos na NBR 10007 (ABNT, 2004), acondicionados em sacos impermeáveis e transportados para o laboratório. A Tabela 1 lista os resultados da análise imediata e de determinação do potencial de geração de acidez pelo método de contabilização de ácidos e base (Sobek et al., 1978).

Tabela 1: Análises realizadas com resíduos de mineração de carvão denominado como R4.

Análise Imediata				
Umidade Higrosc. (%)	Umidade Total (%)	Teor de Cinzas (%, b.s.)	Materiais Voláteis (%, b.s.)	Carbono Fixo (%, b.s.)
0,4	4,5	76,3	9,3	14,4

Análises para determinação do potencial de geração de acidez

Enxofre Total (%)	NP* (kg CaCO ₃ /t)	AP** (kg CaCO ₃ /t)	NNP*** (kg CaCO ₃ /t)	
4,2	11,8	130,6	-118,8	

NP - potencial de neutralização*, AP - potencial de geração de acidez**
NNP – potencial de geração de acidez líquido = (NP – AP) ***

Realização

ABES-RS

PUCRS

UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL



abes-rs@abes-rs.org.br

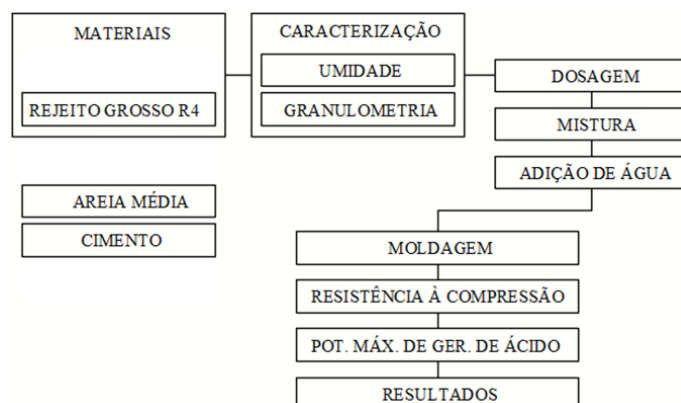
(51) 999330700

www.abes-rs.org.br



Neste trabalho também foram utilizadas areias fina e média, classificada conforme ABNT NBR 7211 (2005), proveniente da jazida Ilíbio e Silva de Treze de Maio/SC. Os aglomerantes utilizados no experimento foram o cimento CP-IV-32RS (resistente a sulfatos) e a cal hidráulica adquiridos diretamente do comércio local. Em alguns traços também se utilizou aditivo da marca Sika® Concreto Forte. A Figura 1 indica as etapas realizadas no estudo.

Figura 1: Sequência de atividades do estudo.



A umidade da amostra de rejeito foi determinada em estufa com exaustão forçada de ar e manutenção da temperatura em 65°C para evitar descaracterização do material com perda de voláteis. A distribuição granulométrica do rejeito foi efetuada conforme a norma ABNT NBR NM 248 (2003). Posteriormente, foram realizadas dosagens (traços) com diferentes porcentagens entre os materiais descritos, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Traços empregados na produção dos concretos com rejeito grosso de carvão.

Traços	Moldagem	RG (L)	AF (L)	AM (L)	Cimento (L)	Cal (L)	A (L)	Aditivo (ml)
1	12/10/2023	7,00	2,00		1,00		1,00	
2	12/10/2023	6,00	3,00		1,00		1,50	
3	20/10/2023	6,00	3,00		1,00		1,30	
4	20/10/2023	6,00	3,00		1,00		1,30	25,00
5	27/10/2023	7,00	2,00		1,00	0,50	1,50	
6	27/10/2023	6,00	3,00		1,00	0,50	1,50	
7	04/11/2023	6,00	3,00		0,00	1,00	1,50	
8	04/11/2023	6,00	3,00		0,50	1,00	1,50	12,00
9	10/12/2023	3,00		3,00	1,00		0,80	
10	10/12/2023	4,00		3,00	1,00		0,90	
11	10/12/2023	4,00		4,00	1,00		0,90	
12	11/12/2023	5,00		3,00	1,00		0,90	
13	11/12/2023	3,00		2,00	1,00		0,75	
14	11/12/2023	4,00		2,00	1,00		0,80	
15	16/12/2023	5,00		2,00	1,00		0,90	
16	16/12/2023	3,00		4,00	1,00		1,00	
17	16/12/2023	4,67		1,33	1,00		0,53	
18	05/02/2024	3,00		3,00	1,00		1,00	
19	05/02/2024	4,67		1,33	1,00		0,80	

RG: Rejeito Grosso - AF: Areia Fina - AG: Areia Média - A: Água - RC: Resistência à Compressão



Foram propostos 19 diferentes traços sendo moldados 69 corpos de prova. Estes foram desenvolvidos com volume suficiente para obter conjuntos de 2 a 3 corpos de prova cada. De acordo com a NBR NM 33 (1998), o volume de concreto gerado para cada traço foi de 1,5 vezes a quantidade necessária para a realização dos ensaios.

Cada dosagem proposta foi colocada individualmente em uma caixa com volume de 20 L, onde os materiais foram homogeneizados e adicionada água à composição e, em alguns traços, aditivo. A quantidade de água a ser utilizada (relação água/cimento) foi arbitrada visando maior trabalhabilidade final (fluidez) da amostra.

As amostras foram então dispostas e compactadas em moldes cilíndricos padronizados (10 x 20cm) conforme orientações da ABNT NBR 5738:2015 (Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova).

Durante as primeiras 24 horas após a moldagem, a cura foi garantida por meio de uma membrana plástica que cobria a superfície do corpo de prova; após esse período, os corpos de prova foram desmoldados e identificados. A Figura 2 ilustra algumas imagens dos procedimentos realizados.

Figura 2: (a) Materiais e equipamentos; (b) mistura dos materiais; (c) moldagem dos corpos de prova; e (d) desmoldagem dos corpos de prova.



Após o período de cura de 28 dias, as amostras foram submetidas ao ensaio de compressão em prensa hidráulica tendo como referência a ABNT 5739 (2018). Os testes foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do Iparque/UNESC em Criciúma, Santa Catarina. A pressão medida ocorre no sistema hidráulico do equipamento, porém, sensores fazem a leitura indireta da aplicação de carga no corpo de prova.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 traz os resultados da análise granulométrica do rejeito de carvão (R4). A distribuição granulométrica foi avaliada conforme os quesitos da norma ABNT NBR 7211 (2005), que trata sobre a especificação de agregados para concreto. Constatou-se que a distribuição granulométrica do rejeito não se enquadra como agregado fino ou graúdo, dada a grande distribuição existente. A distribuição granulométrica do Resíduo R4 demonstrou que 34,3% da amostra está em granulometria acima de 19,1 mm (“top size” da brita nº 1) e 15,0% abaixo de 9,5 mm (tamanho mínimo da brita No 1). Esses percentuais de grãos maiores e menores diminuiu a trabalhabilidade do concreto e dificultou a moldagem dos corpos de prova, podendo também interferir na resistência final pela formação de



espaços vazios. Deve-se também ressaltar que a resistência mecânica do rejeito de carvão é inferior ao das rochas ígneas comumente empregadas como agregados graúdos.

Tabela 3: Análise granulométrica do Rejeito de Carvão R4

GRANULOMETRIA - REJEITO GROSSO R4			
Peneira	Retida	Acumulado	Passante
(mm)	(%)	(%)	(%)
37,5	10,30	10,30	100
25	24,00	34,30	89,7
19	10,70	45,00	65,7
16	9,00	54,00	55
12,5	11,80	65,80	46
9,5	19,20	85,00	34,2
4,75	11,50	96,50	15
2	2,70	99,20	3,5
0,425	0,20	99,40	0,8
0,18	0,20	99,60	0,6
0,075	0,40	100,00	0,4

Dos 19 traços avaliados, apenas 2 apresentaram resultados de resistência à compressão uniaxial média (2 ou 3 repetições) acima de 4 MPa: os traços 09 e 19 (Tabela 4). Importante destacar que no estudo de Stein et al. (2010), a resistência do carvão da camada de carvão Bonito apresenta resistências entre 4 MPa e 5 MPa.

Ao longo dos estudos envolvendo os diferentes traços, observaram-se também os seguintes aspectos: (a) a cura úmida apresentou melhores resultados que a cura seca; (b) o cimento se mostrou um melhor ligante que a cal; (c) a utilização de cimento (que possui caráter alcalino) na composição do concreto é um fator que contribui para o aumento do pH da mistura e evitar a geração de drenagem ácida, (d) as relações água cimento necessárias são relativamente altas ($A/C = 1,0$ e $0,8$) acima do usual que varia de $A/C = 0,4-0,7$, e (e) o uso de aditivo plastificante não foi decisivo para uma melhora na trabalhabilidade e ganho de resistência.

Assim sendo, os corpos de prova dos traços 09 e 19, após o rompimento do ensaio de resistência à compressão, foram encaminhados para a realização do ensaio de verificação do Potencial Máximo de Neutralização (NP) e o Potencial Máximo de Geração de Ácido (PA). Em ambas as amostras o resultado indicou a capacidade de não geração de drenagem ácida de mina (DAM) ($NNP > 20 \text{ kg CaCO}_3/\text{t}$) (Tabela 4).

Tabela 4: Resultados obtidos de resistência mecânica dos corpos de provas e do potencial de geração de drenagem ácida de minas.

Traço	Resistência à Compressão Média (MPa)	NP (kg CaCO_3/t)	AP (kg CaCO_3/t)	NNP (kg CaCO_3/t)
9	5,2	97,1	54,4	42,7
19	4,2	89,3	68,7	20,6

De acordo com o método de contabilização de ácidos e bases, o valor do NNP enquadra o material nas seguintes situações: valores de NNP menores que - 20 indicam que haverá a formação de ácido; valores de NNP maiores que + 20 indicam que não haverá a formação de ácido; e valores de NNP entre -20 e +20 indicam que é difícil prever a formação ou não de ácido.



No que se refere a condicionante econômica que o trabalho busca, para os traços 09 e 19 (de maior resistência), a Tabela 5 apresenta valores de consumo para 1,00 m³ de concreto.

Tabela 5: Consumo de materiais e valores para 1 metro cúbico de concreto.

Consumo de Materiais				
	Cimento (kg)	Areia (m ³)	Rejeito (m ³)	Água (L)
Traço 09	255,30	0,63	0,76	255,30
Traço 19	255,30	0,28	1,18	204,24

Custo dos Materiais (R\$)			
	Cimento	Areia	Total
Traço 09	204,24	116,28	320,52
Traço 19	204,24	42,84	247,08

O traço 09, apesar de ter obtido um valor de resistência média melhor (5,2 MPa), para a composição de 1,00 m³ de concreto, necessita de 0,76m³ de rejeitos. O traço 19 possui uma resistência um pouco menor (4,2 MPa médio), porém na composição de 1,00m³ de concreto utiliza 1,18m³ de rejeitos.

De forma aproximada, o custo de materiais utilizados na composição de 1 metro cúbico concreto para utilização como suporte de galerias em subsolo variaria de R\$ 247,00 a R\$ 320,00 de acordo com o traço a ser utilizado. Importante destacar que o carvão in situ possui densidade entre 2,01 a 2,08 t/m³. Assegurando-se a operacionalidade deste concreto, que permitisse a substituição por 1,00m³ da camada, acredita-se que a viabilidade econômica estaria satisfeita ou muito próxima deste objetivo. Uma análise econômica mais aprofundada e que envolvesse e comparasse aspectos operacionais demonstraria melhor este requisito.

5. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A disposição de rejeitos de carvão em subsolo ainda é um desafio para a mineração de carvão em Santa Catarina. Nesse trabalho foi estudado diferentes traços para compor um backfill cimentado com resistência mecânica similar a da camada Bonito. Os dois melhores traços foram (por m³ de concreto) : (a) traço 09 constituído por 255,3 kg de cimento, 0,63 m³ de areia, 0,76 m³ de rejeito grosso de carvão e 255,3 L de água; (b) traço 19 constituído por 255,3 kg de cimento, 0,28 m³ de areia, 1,18 me de rejeito grosso de carvão e 204,24 L de água. Obteve-se, respectivamente, resistências à compressão de 5,2 MPa e 4,2 MPa e valores de NNP de + 42,7 kg CaCO₃/t e + 20,6 kg CaCO₃/t, o que não é indicativo de geração de acidez.

O refinamento dos ensaios, a adoção de um controle maior na granulometria dos rejeitos a utilização de outros tipos de traços, agregados e aglomerantes na composição da massa são algumas das sugestões para continuidade dos estudos. Os aspectos econômicos necessitariam de estudos mais aprofundados comparando a metodologia com a disposição em depósitos de superfície, porém, entende-se que os resultados são muito promissores. Importante também que, paralelamente, sejam realizadas avaliações técnico/econômicas quanto à operacionalidade do “backfill”, pois sua utilização como reforço estrutural para aproveitamento de pilares demandaria um planejamento de lavra diferente do que é realizado hoje pelas empresas carboníferas de Santa Catarina.

O contínuo aprofundamento da utilização de resíduos como agregado na composição do concreto para aplicação como preenchimento em galerias mineradas é importante para o setor carbonífero e também para a sociedade. Para as empresas, a implementação ou melhoria da sua utilização como método de eliminação destes resíduos, garantindo a sua neutralidade, representaria uma nova forma de mineração, mais ambientalmente responsável em oposição ao método de



disposição em superfície. Para a sociedade, esta alternativa reduziria os impactos ambientais do uso do solo e da água e também a possibilidade de herança de passivos ambientais em casos de abandono ou falência de projetos minerários.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à UFRGS e ao PPGE3M pela infraestrutura e recursos disponibilizados bem como às empresas Carbonífera Metropolitana SA. e a Indústria Carbonífera Rio Deserto pelo fornecimento de amostras. Também somos gratos ao Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA) pela cessão de tempo para dedicação aos estudos de um dos autores.

7. REFERÊNCIAS E CITAÇÕES

ABNT. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

ABNT. **NBR NM 33: Amostragem de Concreto Fresco.** Rio de Janeiro, 1998.

ABNT. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015.

ABNT. **NBR 5739: Concreto – Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2018.

ABNT. **NBR 7211: Agregados para Concreto – Especificação.** Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. **NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro, 2004.

CARBONÍFERA RIO DESERTO - **Relatório Técnico Cumprimento de Condicionantes do Licenciamento Ambiental - Backfill Mina Cruz De Malta.** Treviso, 2023. Não publicado.

CHANG, Q JIANHANG C, HUAQIANG Z, JIANBIAO B. **Implementation of Paste Backfill Mining Technology in Chinese Coal Mines.** 2014

CHUGH, Y. P., et al. **Underground Placement of Coal Processing Waste and Coal Combustion By-Products Based Paste Backfill for Enhanced Mining Economics.** United States Department of Energy. 2002.

GRICE, A. **Underground Mining With Backfill.** s.l. : The 2º Annual Summit – Mine Tailings Disposal Systems, Brisbane , 1998.

HEEMANN, R. ; COSTA, J. C. F.. **O Emprego da Tecnologia de Backfilling na Gestão de Resíduos Sólidos da Mineração de Carvão.** In: CETEM - RJ. (Org.). Carvão Brasileiro: Tecnologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro, 2008.

KOSTECKI, T., SPEARING A.J.S., Influence of backfill on coal pillar strength and floor bearing capacity in weak floor conditions in the Illinois Basin. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**, Volume 76, 2015, Pages 55-67, ISSN 1365-1609, <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2014.11.011>. Acesso em 23 jul. 2023.



MENG LI, JIXIONG ZHANG, AILING LI, NAN ZHOU, **Reutilization of coal gang and fly ash as underground backfill materials for surface subsidence control**. Journal of Cleaner Production, Volume 254, 2020, 120113, ISSN 0959-6526. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120113>. Acesso em 23 jul. 2023.

RANKINE, R. PACHECO, M. SIVAKUGAN, N.. **Underground Mining with Backfills**. 2007. SIECESC. **Relatório Parcial de Atividades**. 2009. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/rede-carvao/Projeto11-Backfill.pdf>> Acesso em 23 jul. 2023.

SOBEK, A.A., SCHULLER, W.A., FREEMAN, J.R., SMITH, R.M. **Field and Laboratory Methods Applicable to Overburden and Minesoils**, EPA 600/2-78-054, 1978, 203 p.

STEIN, M., GUAZZELLI, S. R., ZINGANO, A.C., KOPPE J. C. **Estimativa do Comportamento Mecânico da Camada de Carvão Bonito em Minas Subterrâneas de Santa Catarina**. University. PPGEM-UFRGS. 2010.

ZINGANO A. C., 2003, **Technical visit report – Collapse of pillars in panel - 15, Mina Esperança – Carbonífera Metropolitana SA.**, Lauro Muller – SC. Not published.

