

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS TECNOLOGIAS DE BRIQUETAGEM E DE CONTROLE DE UMIDADE DE CARVÃO

*

*Marina do Carmo Carias¹
Guilherme Liziero Ruggio da Silva²
Erick Mitchell Henrique Braga³
Cláudio Gouvêa dos Santos⁴
Paulo Santos Assis⁵
Johannes Schenk⁶
Ricardo dos Santos Oliveira⁷
Bruno Sardenberg de Castro⁸*

Resumo

Recentes problemas enfrentados na coqueria estão relacionados com a disponibilidade de recursos, preço e qualidade de carvões, e preocupações ambientais que tem levado ao desenvolvimento de pré-tratamento de carvões. Com o objetivo de utilizar carvões não ou pouco coqueificáveis (*semi soft coking coal*), tecnologias para aumento de densidade têm sido aplicadas como briquetagem e controle de umidade de carvão (CMC), nas quais tem provado seus benefícios na produção de um coque metalúrgico resistente. Este trabalho mostrou que coque de alta qualidade em relação à parâmetros de densidade, resistência após reação com CO₂(CSR), drum index (DI) e % coque > 25mm, foi produzido a partir da adição de 20% de briquetes na mistura de carvões. Para aqueles produzidos a partir do CMC, coque com 4% de umidade apresentou melhores propriedades em relação ao coque com excesso de umidade. Foi revelado que o efeito de 20% de briquetes na qualidade do coque é equivalente a produção de coque com 4% de umidade na mistura. Além disso, as características apresentadas pelo processo de CMC neste trabalho, o classifica como a melhor aplicação em coqueria em relação à briquetagem.

Palavras-chave: Mistura de carvão; Qualidade do coque; Briquetagem; Controle de umidade de carvão.

COMPARATIVE STUDY BETWEEN BRIQUETTING AND COAL MOISTURE CONTROL TECHNOLOGIES

Abstract

Recently issues faced by cokemakers connected with availability of resources, coal quality and price, and environmental concerns has led to the development of coal pre-treatment. Aiming the use of semi soft coking coal, technologies for increasing bulk density has been applied such as briquetting and coal moisture control (CMC) which have proved their benefits on manufacturing of a strong metallurgical coke. This work showed that coke with high quality regarding bulk density, strength after reaction with CO₂(CSR), drum index (DI) and coke % > 25 mm parameters, was produced from addition of briquettes 20% in the coal blend. For those cokes produced from CMC, coke containing moisture 4% in coal blend presented better properties than cokes with excessive moisture. It was disclosed the effect of briquettes 20% on coke quality is equivalent to produce coke with moisture 4% in the

blend. In addition, the features presented by CMC process in this work has set it as the best application in cokemaking instead of briquetting.

Keywords: Coal blend; Coke quality; Briquetting; Coal Moisture Control.

- ¹ *Engenheira Metalurgista, Estudante de mestrado em engenharia de materiais, REDEMAT, Ouro Preto, Brasil.*
- ² *Dr.Sc., M.Sc., Professor IFMG e Engenheiro metalurgista na GERDAU, Ouro Branco, Brasil.*
- ³ *M.Sc., Engenheiro metalurgista na GERDAU, Ouro Branco, Brasil.*
- ⁴ *PhD Química, Professor titular, Departamento de química (DEQUI), UFOP, Ouro Preto, Brasil.*
- ⁵ *Dr-Ing, M.Sc.; Professor titular Escola de Minas-UFOP, Brasil. Professor honorário em HUST, China.*
- ⁶ *Dr-Ing, Presidente metalurgia dos ferrosos, Montanuniversität Leoben, Leoben, Áustria.*
- ⁷ *M.Sc. Engenharia de Materiais em REDEMAT, Ouro Preto, Brasil.*
- ⁸ *Engenheiro Metalurgista em UFOP, Ouro Preto, Brasil*

1 INTRODUÇÃO

No contexto atual, muitas coquearias em todo o mundo tem enfrentado uma série de adversidades em relação a disponibilidade de carvões *hard-cokingcoal*(HCC), ao preço de carvões que tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, adeteriorização da qualidade de carvões, a idade das baterias e a demanda pela redução de emissão de CO₂[1].

No caso do Brasil em especial, devido a qualidade inferior dos carvões (alto teor de enxofre e cinzas), aliado ao baixo rendimento de processamento e ao alto custo de extração e transporte, faz com essa matéria-prima seja importada (98%) de diversos países [2,3]. Este fato reflete principalmente na competitividade do aço, uma vez que o preço da mistura de carvões representa cerca de 30% da sua produção.

Diante disso, indústrias especialmente japonesas, tem concentrado seus esforços no desenvolvimento de alternativas ambientalmente favoráveis que tem como objetivo o melhor uso de recursos, isto é, o aumento na relação de carvões *semi soft cokingcoal* na mistura, tornando-a mais barata conseqüentemente.

Tecnologias para aumento de carvões *semi soft cokingcoal*presumem 1) aumento de densidade, 2) otimização do nível de britagem do carvão ou 3) adição de aditivos para aumentar a propriedade de coqueificação [4]. Carvões definidos como *hard-cokingcoal* tem como característica suficiente dilatação durante a pirólise, assim, quando a expansão das partículas de carvão é maior do que o espaço de vazios entre elas, estas se fundem em áreas de grande contato, produzindo um coque de alta resistência [5] (Figura 1). Como carvões *semi soft cokingcoal* possuem propriedades de coqueificação inferiores do que *hard-cokingcoal*[1], o aumento de densidade reduz a distância entre partículas, compensando sua falta de dilatação, e ainda assim, produzindo um coque com resistência também elevada, explicando a teoria para aumento de densidade.

Pré-aquecimento de carvão[6], *stampcharging*[6], CMC [7], briquetagem[7], adição de óleo [8]e vibração mecânica[9]são alguns exemplos de técnicas que vem sido empregadas visando o aumento de densidade. Entretanto, o limite máximo desse aumento deve ser considerado, uma vez que o aumento de pressão de dilatação do carvão devido ao aumento de densidade pode levar a dificuldades de operação no desenformamento do coque [5]. Esta pesquisa é focada em tecnologias de briquetagem e de CMC.

O conceito de briquetagem introduzido e patenteado em 1948 por William Easbyconsiste na aplicação de pressão sobre o carvão fino com ou sem adição de ligantes para formar combustível na forma de aglomerado[10]. De forma similar, os briquetes de carvão manufaturados para coquearia são baseados na aglomeração da mistura de carvão com um ligante (alcatrão, piches, asfalto, óleo, biomassa etc), através de rolos sob uma pressão relativamente baixa [10]. A aplicação desse processo por indústrias japonesas nos anos 70 tem alcançado efeitos positivos, como por exemplos, aumento da densidade e da produção do coque, a possibilidade de aumentar carvões *semi soft* e mais baratos nas misturas, reciclagem de materiais dentro das siderúrgicas e melhoras nas propriedades a frio e a quente do quente [10,11].

Já o CMC foi aplicado pela primeira vez em Oita em 1983[12], com a proposta de reduzir o teor de umidade do carvão a partir de 8-11% (faixa típica) para 5-6% antes do seu carregamento nos fornos de coque. Nippon Steel & Sumikin Engineering (2011)[13] lista três gerações de sistemas de CMC. *Steam Tube Dryer* (STD) e *Coal in Tube Dryer* (CIT), primeira e segunda geração, respectivamente, consistem de

uma carcaça cilíndrica no quais contém inúmeros tubos, permitindo a secagem por transferência indireta de calor. Enquanto no STD o tubo recebe o vapor, no CIT os tubos recebem o carvão. A terceira geração implementada é o tipo *fluidizedbed* (FB) de alta troca de energia, onde a secagem do carvão é realizada por transferência direta de calor [13]. O uso de gás de exaustão faz desse tipo de secador mais eficiente que os primeiros. Adicionalmente, o FB tem o menor custo de manutenção por causa da sua estrutura simples[13]. *Dry-cleanedandAgglomeratedPre-Compaction System* (DAPS) é uma tecnologia do tipo FB aplicada em Oita em 1992. Neste processo, finos de carvões (< 0,3mm) são separados no FB, aglomerados em um rolo compactador para recuperar a propriedade de coqueificação devido ao aumento de densidade, e então, misturados com o carvão grosso para serem carregados no forno de coque[14].

É anunciado que DAPS alcança melhores resultado em termos de CSR, poupança de energia e uso de carvões *soft*[15]. Ambos, briquetagem e CMC aumentariam a relação de carvões *soft* na mistura para aproximadamente 15%, enquanto os processos DAPS e *stampcharging* para 30% em relação ao método convencional, como mostra a Figura 2 [9].

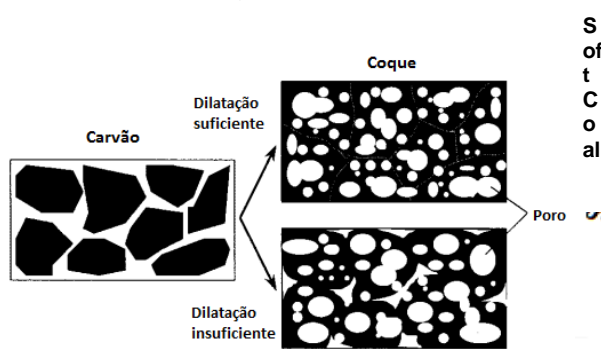


Figura 1. Expansão do carvão e formação do poro[5].

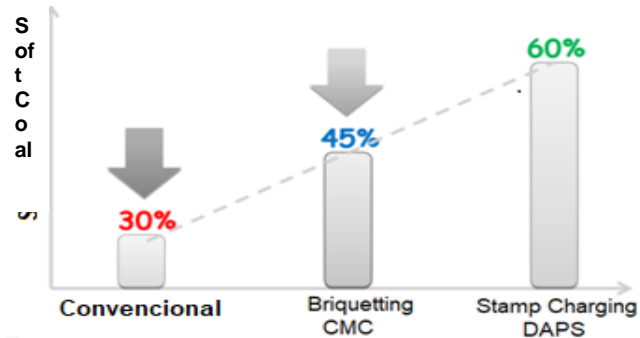


Figura 2. Efeito da relação de carvão *soft cokingcoal* na mistura por processo[9].

Embora briquetagem e CMC possam melhorar a densidade, o efeito dessas tecnologias sobre o mecanismo de carbonização e suas influências sobre a qualidade do coque são diferentes. Na briquetagem, o uso de ligantes pode aumentar a fase plástica durante a carbonização, resultando em uma melhor ligação e qualidade do coque. Enquanto no CMC, a redução do consumo de calor para a evaporação da umidade aumenta o tempo para a carbonização, promovendo uma melhora nas propriedades do coque[16].

Assim, a presente pesquisa tem como objetivo mostrar os impactos sobre a qualidade do coque produzido a partir dos processos de briquetagem e de CMC, apresentar a porcentagem de briquetes e o teor de umidade ótimos na mistura, bem como indicar uma das tecnologias para aplicação em Coquerias.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Produção de Coque com Adição Parcial de Briquetes e com Controle de Umidade de Carvão

A qualidade da mistura base de carvões utilizada para ambos processos foi formulada com característica como exibido pela Tabela 1:

Tabela 1. Mistura de carvões utilizada no processo de briquetagem e CMC

Carvão (%)		Tamanho de partícula Carvões do briquete		%
EUA	18	>2		28,61
CAN	10	2>x>1		32,83
AUS	10	1>x>0,355		35,8
COL	37	1>x>0,149		2,74
EUA	5	<0,149		0,02
BRA (coquepetróleo)		20	Total	100
Granulometria do carvão da mistura			85% > 2,83mm	
Petrografia (%)				
Vitrinita	60,2	Reflectance		1,14
Análise imediata (%)		Reologia		
Matérial volátil	23,46	Máxima fluidez (log)		2.5
Cinzas	7,57	Softening temperature (°C)		309
Umidade	8,00	Maximum temperature of fluidity (°C)		360
Teor de enxofre	0,81	Solidification Temperature (°C)		382

Para a produção de briquetes, a mistura de carvões foi homogeneizada durante 5 minutos (misturador de 2000rpm) com a adição de 5% de alcatrão que foi previamente aquecido até 70°C. A compactação do material foi realizada em uma máquina de rolo duplo simétrico, com cavidades em forma de traveseiro e uma velocidade de 1711 rpm em direções opostas. Posteriormente, misturas de carvões com diferentes adições de briquetes (0, 10, 20, 30 e 60%) foram preparadas. Para a determinação da densidade de carga do carvão, 20kg de amostra (mistura base mais briquetes = M1) foram carregadas dentro de uma caixa de 0,24m² de área de base x 0,30m de altura. A partir do volume (V1) ocupado pela amostra, a densidade (D1) foi calculada como $D1 = M1/V1$. O comportamento de contração/expansão e pressão das misturas com briquetes foram avaliados como descrito no item 2.2.

Em paralelo, para simular o sistema de secagem, o teor de umidade das misturas foi controlado em 2, 4, 6, 8, 10, 12 e 14% por sua exposição em um ambiente fechado e à temperatura ambiente para redução da umidade, quanto pela adição de água. Em seguida, amostras representativas foram coletadas para medida de densidade (D2) a partir de um recipiente de volume conhecido (V2) e calculado como $D2 = M2/V2$, onde M é a massa encontrada.

Os coques foram produzidos como se segue em 2.3. O fluxograma das etapas deste trabalho é ilustrado na Figura 3.

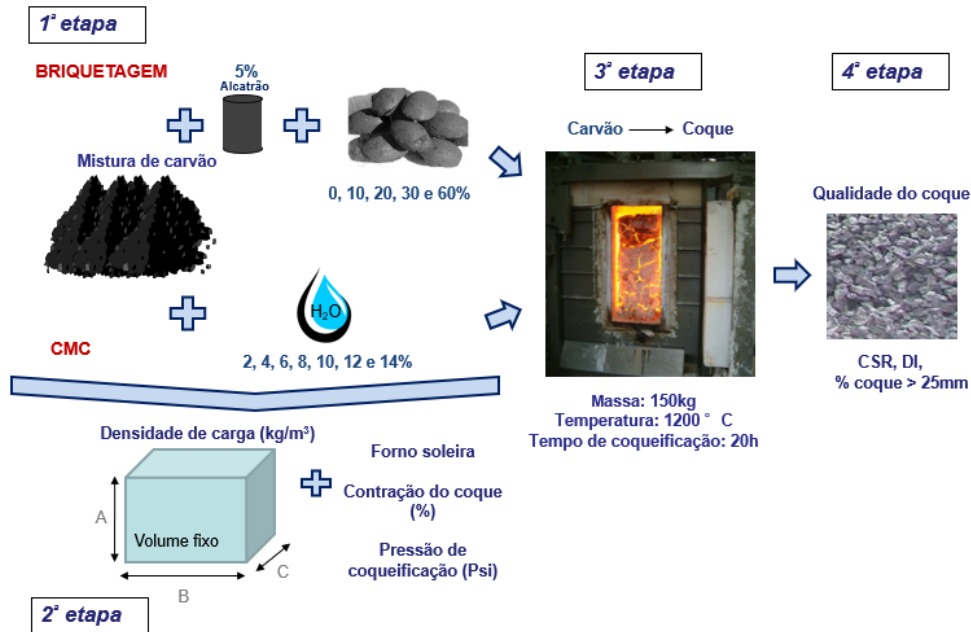


Figura 3. Fluxograma presente trabalho.

2.2 Comportamento de Contração/Expansão e Pressão

De acordo com a norma ASTM D2014 [17], o comportamento de contração/expansão da mistura de carvão é realizado partir de 9kg de amostra, no qual é dividido entre duas câmaras no forno de soleira aquecida. Neste, a amostra de carvão é carbonizada sob uma carga constante de 2psi, e tem então, a sua variação volumétrica medida quando a sua temperatura de superfície atinge 500°C. A soleira alcança uma temperatura de 950°C.

A pressão de coqueificação do carvão é consequência da pressão do gás interno que se desenvolve devido a evolução de matéria volátil e é medido a partir da regressão dos valores encontrados no teste de contração/expansão.

2.3 Forno Piloto

O processo de coqueificação foi realizado no forno piloto da Gerdau de dimensões de 455mm de largura x 830mm de comprimento x 930mm altura, 0,350 m³ de volume, capacidade de carga de 255 kg (base seca) e 750 kg /m³ de densidade de carga.

O aquecimento do forno é feito por 72 resistências nas quais elevam a temperatura do forno em até 1100°C. Após 20 horas de processo, o coque é desenformado, extinto à água e exposto a um teste de queda (3 vezes) de uma altura de 2m. Em seguida, os parâmetros de qualidade foram avaliados.

2.4 Teste de Resistência e Granulometria do Coque

O teste de resistência do coque após reação com CO₂ é um teste combinado com o teste de reatividade e executado de acordo com ASTM D5341(2014) [18]. A massa de coque remanescente (M3) do teste de reatividade, determinada pela sua perda em massa após exposição por 120min em atmosfera de CO₂, é submetida a um tambor rotativo (20rpm) por 30 minutos. O CSR é calculado como CSR =

$100 \cdot (M4/M3)$, onde M4 é a massa após tamboramento e retida em peneira > 9.52 mm.

DI é determinado de acordo com a norma JIS K2151(2004) [19] e significa a porcentagem em massa de partículas de carvão maior que 15mm após 150 revoluções no tambor.

Para o teste de granulometria, o coque foi classificado como % > 25mm após em uma peneira vibratória por 20 minutos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Qualidade do Coque Produzido a partir da Briquetagem

A medida que quantidade de briquetes na mistura aumenta, a densidade de carga também aumenta como mostra a Figura 4 -A. Este fato era esperado, uma vez que a redução do espaço entre partículas diminui, permitindo o aumento de massa de carvão o que tem um impacto positivo na produtividade. Observando o efeito da % de briquetes sobre os parâmetros de resistência, há um valor máximo na mistura com 30% de briquetes (Figuras 4 – B – C – D). Para além deste valor (>30%), o efeito da adição de briquetes nesses parâmetros não é totalmente eficaz devido ao aumento do espaço livre entre as partículas de carvão e a supersaturação de briquetes, causando fissuras na massa do coque que levam ao seu enfraquecimento e diminuição de partícula [20], como ilustra a Figura 5.

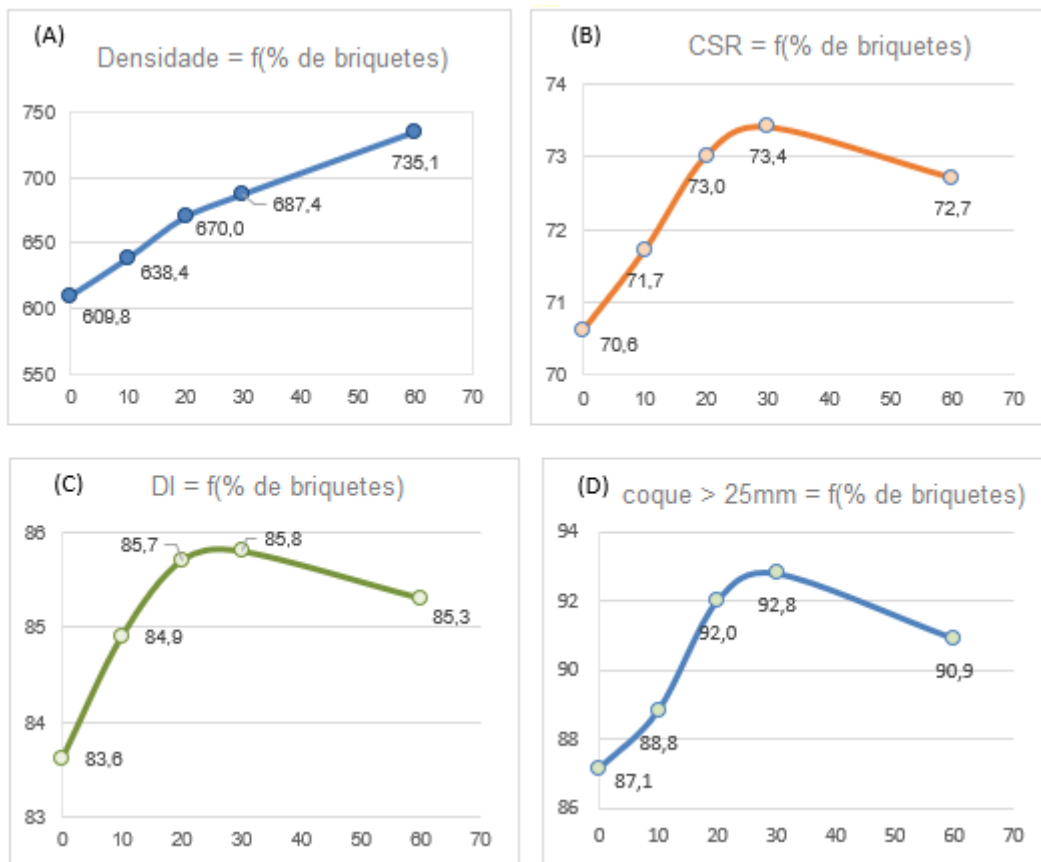


Figura 4. Efeito da adição de briquetes sobre a (A) densidade, (B) CSR, (C) DI e (D) % de coque > 25mm.

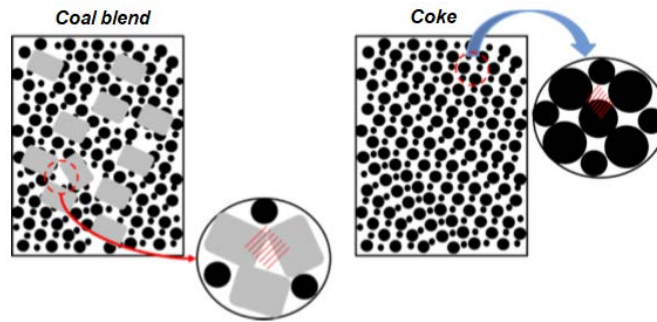


Figura 5. Espaços vazios apresentados na mistura e seu efeito no coque[20].

Entretanto, quando levado em consideração a capacidade de manter a integridade dos fornos de coque, embora a mistura com 30% de briquetes apresente valores dentro do especificado para o teste de contração (Figura 6 – A), isto é -7 a -15, o valor encontrado para o teste de pressão está fora do especificado, cujo o valor alvo máximo é 1.0psi (Figura 6- B).

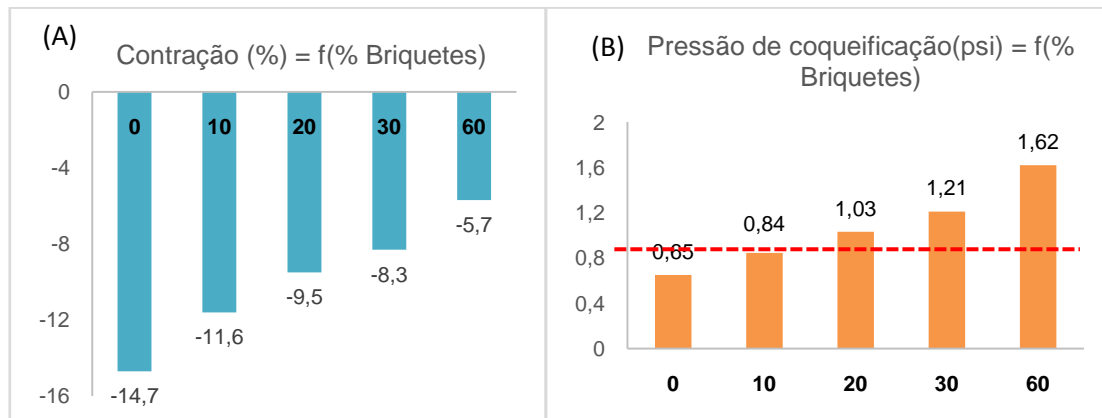


Figura 6. Resultados de A) contração e B) pressão de coqueificação.

Assim, a quantidade ideal de briquetes na mistura considerando os resultados acima seria de 20%. Comparando coques com 20% de adição de briquetes em relação àqueles sem briquetes na mistura, há um aumento sobre a densidade de carga de 10%, no CSR de 2,4%, no DI de 2,1% e na % de coque > 25mm de 4,9%.

3.2 Qualidade do Coque Produzido a partir do CMC

A Tabela 2 mostra o efeito do CMC sobre os parâmetros de qualidade do coque.

Tabela 2. Resultados da caracterização da mistura e do coque do CMC

Parâmetros	Unidade	Amostras							
		2	4	6	8	10	12	14	
Mistura de carvão	Umidade	%							
	Densidade	kg/m ³	803.8	773.7	709.2	609.8	585.2	578.6	600.0
Coque	CSR	%	75.7	73.3	71.9	70.6	67.2	65.6	68.8
	DI	%	84.7	85.1	84.2	83.6	81.7	82.0	83.4
	>25mm	%	90,3	90,7	90,2	87,1	89,9	87,7	87,5

A variação da densidade de carga de carvão em relação ao teor de umidade é mostrada na Figura 7- A, na qual alcança um máximo para o carvão com menor teor

de umidade (2%), diminui a um mínimo entre 10 e 12%, e sofre um leve aumento novamente. Inicialmente, a densidade diminui devido à substituição de partículas de carvão de $1,41\text{g}/\text{m}^3$ por água de $1\text{g}/\text{cm}^3$ e às partículas hidrofóbicas de carvão que causam repulsão entre si, aumentando o espaço vazio. Por outro lado, com o alto teor de umidade, a água se comporta como ligante, fazendo com que as partículas se aderem entre si formando pseudo-partículas. Assim, o efeito de aglomeração diminui a fração de espaços livres, explicando o leve aumento de densidade na segunda parte.

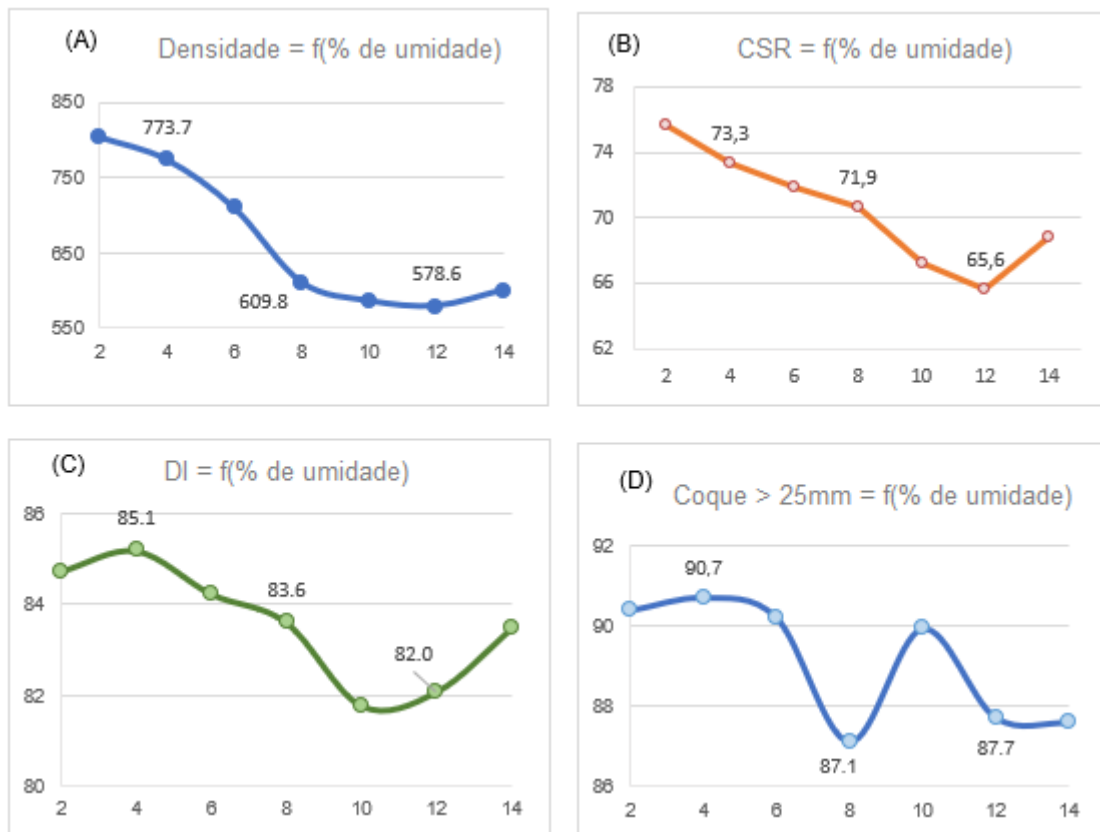


Figura 7. Efeito do teor de umidade sobre (A) a densidade, (B) CSR, (C) DI e (D) % de coque > 25mm.

A medida que a umidade presente na mistura diminui, melhoras sobre os parâmetros de CSR, DI e % de coque > 25 mm foram encontrados como resultado do aumento de densidade. Levando em consideração a mistura com 4% de umidade, na qual apresentou melhores resultados de DI e % de coque > 25mm, em relação a mistura com 8% (média típica da coqueria da Gerdau), pode ser observado um aumento sobre a densidade de 27%, no CSR de 2,8%, no DI de 1,6% e no coque > 25mm de 3,6%.

3.3 Sobreposição de Resultados

Como estabelecido a priori no item 3.1, a quantidade ideal de briquetes foi de 20%. Neste tópico é mostrado a sobreposição de resultados para briquetagem e CMC (Figura 8 – A - B - C - D) visando estabelecer qual teor de umidade produziria o mesmo efeito, ou aproximadamente, que a adição de 20% de briquetes na mistura de carvão. Analisando a Figura 8-A, a umidade de 6% tem o valor de densidade mais próximo daquele para a adição de 20% de briquetes. Para todos os outros gráficos, Figuras 8 – B – C - D, coques com 4% de umidade apresentam os valores

próximos aos produzidos com 20% de briquetes para o CSR, DI e % de coque > 25mm.

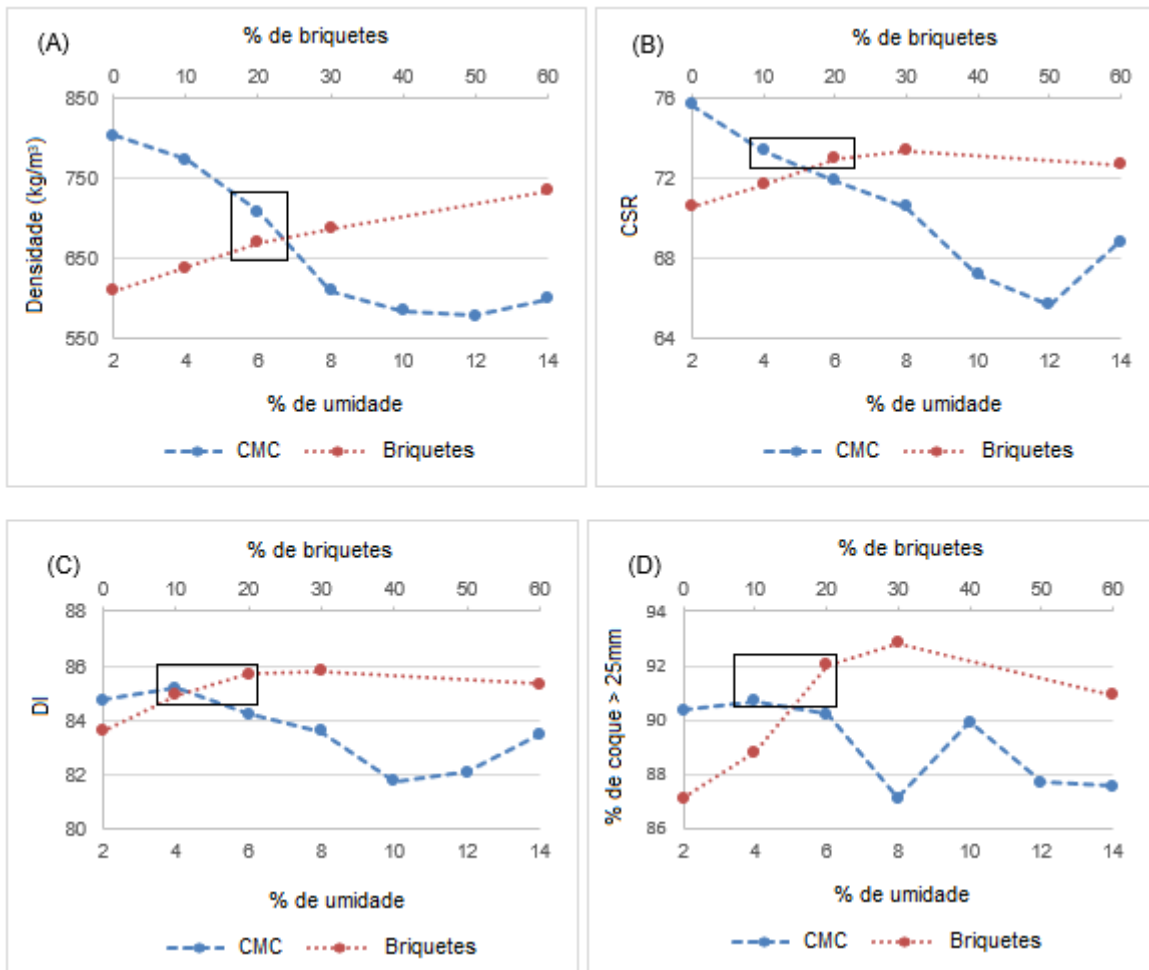


Figura 8. Sobreposição de resultados de (A) densidade, (B) CSR, (C), DI e (D) % de coque > 25mm para briquetagem e CMC.

Eventualmente, a Tabela 3 foi construída para comparar as características de cada tecnologia e apresentar seus efeitos na qualidade do coque que justifique a adoção de uma delas no processo de produção do coque. Ambos processos são amplamente disseminados em países asiáticos e possuem larga escala para aplicação[21,22]. A alta densidade alcançada por essas técnicas requerem cuidados em relação a pressão de coqueificação que pode causar danificações aos fornos[22]. Além disso, o processo de briquetagem exige cuidados devido aos **problemas** ambientais e à saúde causados por ligantes de **hidrocarbonetos** [22], enquanto no CMC, a redução excessiva de umidade leva a um aumento da emissão de poeira durante o transporte e de finos durante o enforamento que afeta adversamente o processo de limpeza do gás, a qualidade do alcatrão e aumento da deposição de carbono dentro dos fornos[12,23].

Embora briquetagem tenha um menor custo de investimento, o menor custo de manutenção[13] (no caso do tipo FB) e as melhoras alcançadas pelo CMC, principalmente considerando o aumento na densidade e diminuição no tempo de coqueificação[12] que levariam ao aumento de produtividade, justificam sua aplicação ao invés da briquetagem.

Tabela 3. Comparação entre as características das tecnologias de briquetagem e de CMC.

TECNOLOGIAS	Plantas existentes	Escala	Cuidados	Custo de Investimento	Custo de Manutenção	Vantagens*
BRIQUETAGEM	Japão, África do Sul, Índia e China	até 100t/h por conjunto de rolos	Pressão de coqueificação; Problemas ambientais e à saúde devido aos ligantes a base de hidrocarbonetos	Menor que do CMC	Alto devido à manutenção dos rolos, consumo de energia e de ligantes	Densidade +10% CSR +2,4% DI +2,1% >25mm +4,9%
CMC	Japão, Coreia do Sul, China e Índia	500t/h	Pressão de coqueificação; Umidade < 6% aumenta a emissão de finos durante o transporte e no carregamento nos fornos	Alto	O tipo FB possui uma estrutura simples Baixo custo	Densidade +27% CSR +2,8% DI +1,6% >25mm +3,6% Tempo de coqueificação - 3,7%

*Dados encontrados neste trabalho, exceto o tempo de coqueificação.

4. CONCLUSÃO

Tecnologias para aumento de densidade como briquetagem e CMC tem provado seus impactos sobre a qualidade do coque. Em relação ao processo de briquetagem, foi encontrado que a quantidade ideal de briquetes na mistura é de 20% e que esta promoveu um aumento na densidade de 10%, no CSR de 2,4%, no DI de 2,1% na % de coque > 25mm de 4,9%.

Por outro lado, para a tecnologia de CMC, coque com 4% de umidade produziu seguinte efeito de aumento: 27% sobre a densidade, 2,8% sobre o CSR, 1,6% sobre o DI e 3,6% sobre a % de coque > 25mm.

A sobreposição de resultados de ambas tecnologias revelou que a adição de 20% briquetes na mistura de carvões produz aproximado o mesmo resultado que o coque produzido com 4% de umidade na mistura.

Embora o processo de CMC tenha um maior custo de investimento, a qualidade do coque produzido e o menor custo de manutenção justificam a sua aplicação em coqueria ao invés da tecnologia de briquetagem.

Agradecimentos

Os autores são gratos à GERDAU, CAPES, UFOP e REDEMAT pelo apoio a este estudo.

REFERÊNCIAS

- 1 Nomura, Seiji. Recent developments in cokemaking technologies in Japan. Fuel Processing Technology, v. 159, p. 1-8, 2017.
- 2 Borba, Roberto Ferrari. Carvão Mineral. Balanço mineral brasileiro, 2001.
- 3 Dnpm. (2015). Sumário Mineral 2015..
- 4 Nomura, S.; Arima, T. Influence of binder (coal tar and pitch) addition on coal caking property and coke strength. Fuel Processing Technology, v. 159, p. 369-375, 2017.
- 5 Nomura, Seiji et al. Coal Blending Theory for Dry Coal Charging Processes. SHINNITETSU GIHO, v. 384, p. 43, 2006.

- 6 Standish, N.; Yu, A. B.; Zou, R. P. Optimization of coal grind for maximum bulk density. Powder technology, v. 68, n. 2, p. 175-186, 1991.
- 7 Masahiko, W.; Kubota, Y.; Uebo, K.; Nomura, S. Effects of Briquette Blend on Packing Structure of Fine Coal Part. 7th European Coke and Ironmaking Congress – ECIC. P. 539-546, 2016.
- 8 Sabadini, M. B.; Fernandes, D. C.; Reis, H. M. B. Adição de Óleo na Mistura de Carvões para Fabricação de Coque na Usiminas Ipatinga. Contribuição Técnica ao 43º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas. ABM, Belo Horizonte, 2013.
- 9 Nascimento, L. M. Simulação física a frio da densificação da mistura de carvões em coqueria via vibração mecânica. 2016. 83f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.
- 10 Diez, M. A.; Alvarez, R.; Cimadevilla, J. L. G. Briquetting of carbon-containing wastes from steelmaking for metallurgical coke production. Fuel, v. 114, p. 216-223, 2013.
- 11 Masakazu, Y.; Mitsugu, S.; Toshiaki, O.; Mataichi, O.; Hideki, Y. Present status of production procedure for briquette blend coke. Nippon Steel Technical Report Overseas, n. 10, 1977.
- 12 Wakuri, S.; Ohno, M.; Hosokawa, K.; Nakagawa, K.; Takanohashi, Y.; Ohnishi, T. et al. New Moisture Control System for Coal for Coking. Transactions ISIJ, Vol. 25, p. 1111-1115, 1985.
- 13 NIPPON STEEL & SUMIKIN ENGINEERING CO., LTD. Fluidized Bed Type CMC Utilizing Coke Oven Exhaust Gas. 2011.
- 14 Kato, K.; Yamamura, Y.; Nakashima, Y. Development of Dry-cleaned and Agglomerated Pre-compaction System (DAPS) for Metallurgical Cokemaking. Nippon Steel Technical Report, n. 94, p. 42-46, 2006.
- 15 Das, S. K.; Nandy, A. S.; Paul, A.; Sahoo, B. K.; Chakraborty, B & Das, A. Coal blend moisture—a boon or bane in cokemaking?. Coke and Chemistry, v. 56, n. 4, p. 126-136, 2013.
- 16 Cui, P.; QU, K. L.; Ling, Q.; Cheng, L. Y.; & Cao, Y. P. Effects of coal moisture control and coal briquette technology on structure and reactivity of cokes. Coke and Chemistry, v. 58, n. 5, p. 162-169, 2015.
- 17 ASTM D2014 – 97(2010). Standard Test Method for Expansion or Contraction of Coal by the Sole-Heated Oven.
- 18 ASTM D5341/D5341M, 2014. Standard Test Method for Measuring Coke Reactivity Index (CRI) and Coke Strength after Reaction (CSR). American Society for Testing and Materials.
- 19 JIS K2151, 2004. Coke – testing methods. Japanese Industrial Standard.
- 20 Lima, B. S. C. Briquetagem de carvões para produção de coque metalúrgico. 2016. 82f. Monografia (Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal de Ouro Preto, 2016.
- 21 Dehont, F. Coal briquetting technology. SAHUT CONREUR S.A. 2006.
- 22 Isler, D. Coal Blend Preparation Techniques. ArcelorMittal University. 2012.
- 23 Furusawa, A.; Nakagawa, T.; Maeno, Y.; & Komaki, I. Influence of coal moisture control on carbon deposition in the coke oven chamber. ISIJ international, v. 38, n. 12, p. 1320-1325, 1998.