



## **Síntese e caracterização de sinter de finos de minério de ferro com base magnética utilizando rota de produção baseada em carvão vegetal versus coque de petróleo**

Renan dos Santos Faria<sup>1</sup>; 0000-0003-3693-5169  
Alexandre Fernandes Habibe<sup>1,2</sup>; 0000-0001-6409-3996  
Alexandre Alvarenga Palmeira<sup>1,2</sup>; 0000-0002-9271-8858  
Dayana Elizabeth Werderits Silva<sup>2</sup>; 0000-0003-2397-4396  
Izabel de Oliveira da Mota<sup>1</sup>; 0000-0001-6276-5381  
João Paulo de Almeida Figueiredo<sup>1</sup>; 0000-0002-2186-9616

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.

2 – UERJ, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Tecnologia, Resende, RJ  
[renansfaria@gmail.com](mailto:renansfaria@gmail.com)

**Resumo:** Na busca por minério de ferro alternativo, podem ser experimentados minérios menos especializados, como os à base de magnetita na sinterização, que visa construir uma rota de construção alternativa ao minério granulado tradicional, para carga metálica em altos-fornos. Este trabalho teve como foco o desenvolvimento de um sinter de minério de ferro à base de magnetita, com o objetivo de atingir uma basicidade primária da ordem de 1,8, considerando as possibilidades de síntese a partir da utilização de combustíveis como coque de petróleo e moinha de carvão vegetal. A rota alternativa em questão está estruturada com a mistura de minério de ferro com matriz de magnetita e a carga de sinter disponível na balança e os componentes tradicionais da mistura para fabricação de sinter, como: moagem de hulha, petróleo, coque, cal em pó, devolve finos e pó de balão (pó de coletor). O objetivo deste trabalho foi comparar o desempenho do produto ao utilizar dois tipos de combustível: coque de petróleo e moinha de carvão vegetal. A metodologia se apoiou no planejamento e execução de etapas que propiciaram materiais de partida e seu processamento em uma planta piloto de sinterização e a caracterização química e mecânica dos produtos obtidos, localizada no estado de Minas Gerais. Os resultados determinados pelos testes aos produtos obtidos mostraram uma clara tendência para designar a produção deste sinter, sendo o coque de petróleo o combustível mais adequado, comparativamente ao triturador de hulha. Em termos de produtividade e tempo de sinterização, o uso do coque de petróleo indicou um ganho de 15% em relação ao sinter tratado com moinha de carvão vegetal. Ao analisar o desempenho e a geração de finos/retorno da mistura, o sinter tratado com coque de petróleo apresentou um ganho de 9% em relação ao sinter tratado com carvão vegetal. Comparado ao consumo específico de combustível, os experimentos indicaram um consumo de 7,5 % de coque de petróleo versus 12,5 % de moinha de carvão vegetal.

**Palavras-chave:** Sinter de finos de minério de ferro. Combustíveis. Base magnética.





## INTRODUÇÃO

No atual ambiente competitivo, o controle de processos produtivos tem sido cada vez mais exigido, o que demanda um ciclo produtivo que apresente menor variabilidade e maior previsibilidade de desempenho para o cliente. Em indústrias de siderurgia integrada, a própria variação inerente da matéria-prima proporciona o aumento da complexidade e a dificuldade de controle. Para tanto, são necessárias diversas transformações até se obter o produto final. Alguns estudos têm demonstrado que a elevação da quantidade de finos de minério de ferro na mistura torna as reações de sinterização mais eficientes (HARANO, 2013)

A sinterização de minério de ferro tem por objetivo principal a transformação de finos de minério, através da aglomeração a quente em conjunto com outras matérias primas, em um produto denominado sinter (LEMOS, 2015). Cabe ressaltar que em função da escassez de minério bitolado com bom teor de ferro e pelos custos elevadíssimos do minério de ferro que guarda prioridade para a vertente exportação, cabe aos fabricantes de gusa buscar novas fontes de matéria prima para substituir as fontes tradicionais para composição de carga metálica para os altos-fornos (ARAÚJO e VIANA, 2004).

As características químicas ideais que o minério de ferro deve apresentar variam de um processo para outro uma vez que a definição de sua composição química apresenta uma faixa bastante ampla, a depender do balanço de carga do alto-forno utilizado. Portanto, é observada a participação do sinter na carga metálica e, substancialmente, a sua qualidade, a natureza e o volume de escória produzida para obter o ferro-gusa (MOURÃO, 2011).

Face à crescente escassez de minérios de ferro de boa concentração, bitolado de alto teor, e com sílica e fósforo limitados às demandas dos altos-fornos, se tem investigado novas fontes de finos com qualidade superior para encaminhar o processamento destas matérias-primas com características químicas adequadas à redução que, como no caso dos finos de ferro de origem magnetítica, a princípio se mostram particularmente de dificultada sinterabilidade. (HIGUCHI, 2006)

O objetivo do trabalho é oferecer um ponto de equilíbrio na geração do calor necessário à sinterização na frente de queima e ajustá-lo a um custo economicamente





viável por meio da avaliação da sinterabilidade de finos de minérios de ferro de base magnética para a obtenção da mistura de finos mais adequada e um processo mais produtivo. Adicionalmente, foram apontadas a quantificação e qualificação dos indicadores operacionais e de performance química/resistência mecânica, por meio de rotas de sinterização, utilizando-se como combustível coque de petróleo ou moinha de carvão vegetal para a síntese de um sínter com 1,8 de basicidade.

## MÉTODOS

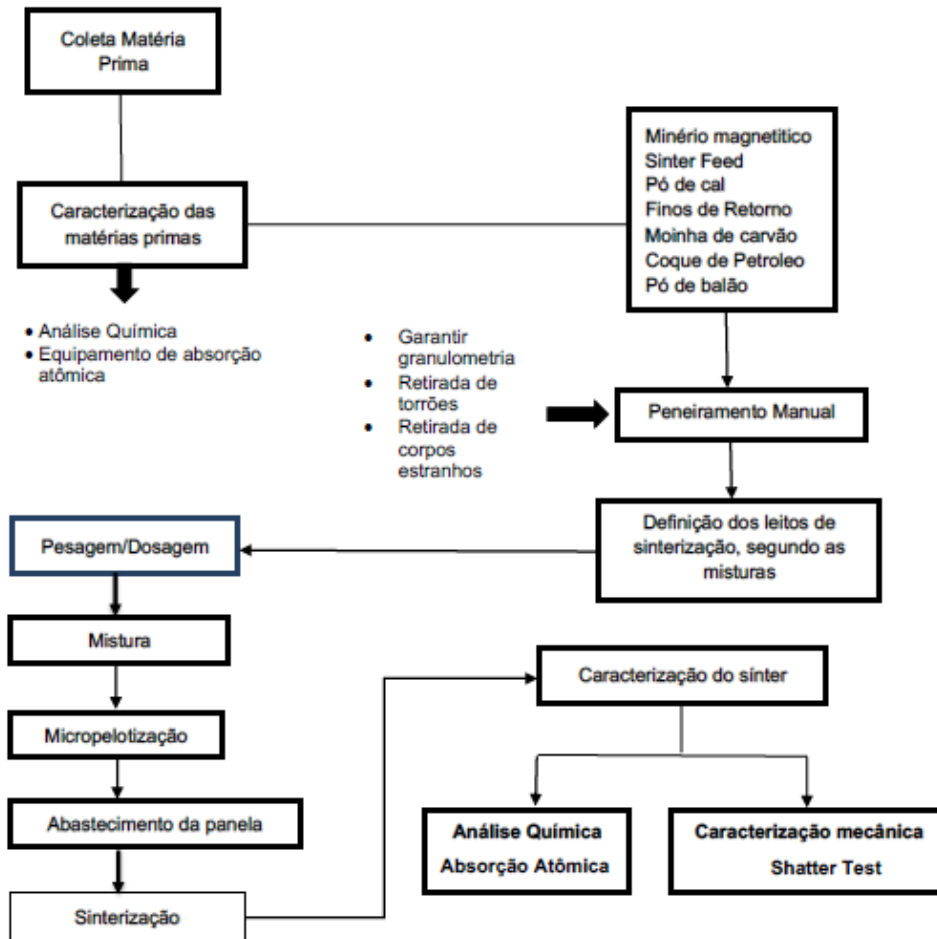
O presente trabalho baseou-se no planejamento e execução de etapas, conforme ilustrado na Figura 1, visando a obtenção de materiais de partida, seu processamento em planta piloto de sinterização e a caracterização química e mecânica dos produtos obtidos, variando-se as misturas de materiais com vistas a síntese de sínter a partir de minério de ferro, com vistas a obtenção do produto (sínter).

A planta piloto de sinterização da THI Metalurgia Ltda, fica localizada no município de Santa Luzia - MG. Ressalta-se que amostras das matérias-primas utilizadas no desenvolvimento dos testes foram obtidas a partir da coleta em pilhas de estoque de matéria-primas e de rejeitos em uma usina siderúrgica na região de Matozinho – MG. Com objetivo de buscar uma mistura mais equilibrada de insumos, foram propostas cinco misturas de materiais e realizados três testes de sinterização com cada tipo de mistura, assumindo os valores médios de composições de partida e resultados para os testes de cada mistura.

Foram carregados 100kg de mistura na panela para cada teste e, após cada queima o produto resultante foi retirado utilizando o mecanismo de basculamento e o produto acondicionado em tambor específico para resfriamento e coleta de amostras para análise química e caracterização mecânica. Foram avaliados os parâmetros das queimas N#2, N#4 considerando a influência de alguns parâmetros na mistura padrão.



Figura 1 – Fluxograma metodológico



FONTE: (Elaborado pelos autores, 2023)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Salienta-se que os resultados obtidos na planta piloto de Santa Luiza-MG a partir da utilização das misturas resultantes da introdução de coque de petróleo ou moinha de carvão vegetal como combustíveis consideraram os parâmetros de processo, bem como a estratificação qualitativa, de composição química e de caracterização mecânica dos sínteres produzidos neste local.

A partir das queimas realizadas na planta em questão, observou-se que a produtividade obtida com coque de petróleo utilizado como combustível em N#3 foi maior que em N#4 que utilizou moinha de carvão vegetal.



Com relação ao tempo de sinterização, os resultados apontaram uma estreita relação entre a qualidade do combustível e o tempo de sinterização. Constatou-se que o tempo médio de sinterização em N#4 mostrou-se inferior ao tempo de sinterização em N#3. Cabe ressaltar que a morfologia do coque de petróleo e a homogeneidade de distribuição granulométrica garantiram uma queima de melhor qualidade com resultados para o sinter melhor distribuídos. Adversativamente, a dispersão na granulometria da moinha de carvão vegetal e sua forma lamelar impôs uma distribuição de calor irregular na mistura. Destaca-se que, embora se tenha detectado desnível entre os resultados das queimas em N#4, após o ajuste dos parâmetros de processo para a segunda queima em N#4, obteve-se menor tempo de sinterização em relação ao registrado em N#3.

Evidenciou-se ainda uma tendência de rendimento utilizando-se coque de petróleo que garantiu melhor homogeneidade de queima e melhor distribuição na carga, proporcionando um produto com melhor rendimento de massa, o que propiciou uma produtividade melhor. O percentual de finos gerados abaixo de 5mm corroborou com a tendência de melhor rendimento com utilização de coque de petróleo versus moinha de carvão vegetal.

Outra vantagem do coque de petróleo sobre a moinha de carvão vegetal foi verificada com base na menor taxa de umidade que o combustível agregou à mistura ao ser sinterizada, reforçando uma tendência ao consumo de menor quantidade de carbono fixo para garantir o atingimento das temperaturas necessárias ao processo.

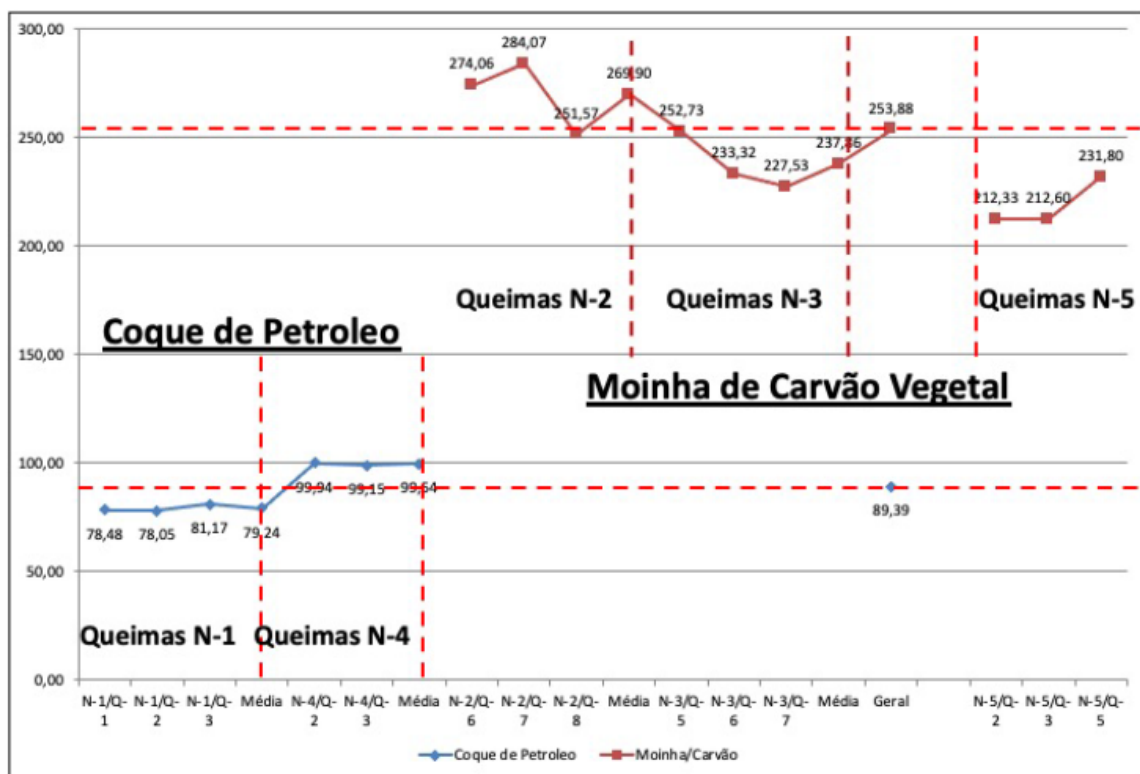
Foi apontado um menor consumo de coque de petróleo com relação a moinha de carvão vegetal devido ao poder calorífico de o coque de petróleo ser superior ao da moinha de carvão vegetal. Tal afirmação decorre do maior carbono fixo do coque de petróleo, conforme ilustra a Figura 2. Outras vantagens decorrentes da homogeneidade da granulometria do coque e sua morfologia mais adequada, facilitam ainda um melhor rendimento na queima que favorece a utilização de quantidade de coque na mistura.





Os testes para avaliação da resistência mecânica do sínter indicaram para a basicidade 1,8 uma performance superior do sínter que utilizou como combustível a moinha de carvão vegetal. Observou-se que este resultado foi diretamente influenciado pela primeira queima de N#4 ainda não parametrizada que foi corrigida na segunda queima, o que gerou discrepância nos resultados obtidos inicialmente. Portanto, foi evidenciado que ao utilizar apenas o sínter gerado na segunda queima N#4, obteve-se uma melhor performance de resistência mecânica para o coque de petróleo em relação a moinha de carvão vegetal.

Figura 2 - Tendência do consumo de coque de petróleo *versus* moinha de carvão vegetal



FONTE: (Elaborado pelos autores, 2023)

## CONCLUSÕES

Considerando o conjunto de queimas desenvolvidas na planta piloto, pode-se concluir que a produtividade obtida com coque de petróleo quando utilizado como combustível em N#3 foi maior que em N#4 que utilizou como combustível a moinha de carvão



vegetal. Os testes realizados para avaliação da resistência mecânica do sinter indicaram para a basicidade 1,8 uma performance superior do sinter que utilizou como combustível a moinha de carvão vegetal. Este resultado destoou dos resultados apresentados em que rendimentos e geração de finos apontam uma tendência de maior resistência mecânica para os sínteres produzidos utilizando como combustível o coque de petróleo. Ademais, foi apontado que utilizando-se apenas o sinter gerado na segunda queima N#4 se obtém uma melhor performance de resistência mecânica utilizando-se coque de petróleo em relação a moinha de carvão vegetal.

Com relação aos tempos de sinterização registrados, os resultados apresentam uma estreita relação entre a qualidade do combustível e o tempo de sinterização, visto que, o tempo médio de sinterização em N#4 (42,78 min) mostra-se inferior ao tempo de sinterização em N#3 (31,83 min).

O rendimento obtido no processo de sinterização, quando da utilização do coque de petróleo seguiu a tendência de garantir melhor homogeneidade de queima e melhor distribuição na mistura, proporcionando um produto com melhor rendimento de massa e, portanto, uma produtividade melhor.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao UniFOA pelo apoio no desenvolvimento técnico-científico através dos pelos mecanismos de desenvolvimento disponibilizados e pelo incentivo discente através do programa fomento a pesquisa através do seu programa de Mestrado (MEMAT).

## REFERÊNCIAS

- ARAUJO, A. C., VIANA, P. R. M. **Minérios de ferro e seus métodos de concentração**. Apostila curso ABM, 2004.
- Edson Luiz M. Harano, **Brazilian Iron Ores Sintering: Present Status and Challenges for the Future**, no 43º Seminário de Redução da ABM em 2013.
- HIGUCHI, K. et al. **Quality Improvement of Sintered Ore in Relation to Blast Furnace Operation**. Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation. [S.l.], p. 41. 2006





2º Congresso  
**Tudo é  
Ciência:**  
**(Ser) Humano na  
Sociedade 5.0**



ORGANIZADO POR:

**UniFOA**

LEMOS, Leandro Rocha. **Produção de briquetes de resíduos siderúrgicos para utilização em altos-fornos.** / Leandro Rocha Lemos – Belo Horizonte: UFMG: 2015  
MOURÃO, M. B.(coord.). **Introdução à siderurgia.** São Paulo, ABM, 2011.



2º Congresso  
**Tudo é  
Ciência:**  
**(Ser) Humano na  
Sociedade 5.0**

2º Congresso Brasileiro de Ciências e Saberes Multidisciplinares  
Volta Redonda - RJ | 26 a 28 de Outubro

**ORGANIZAÇÃO**

**UniFOA**