

ESTUDOS DE EFICIÊNCIA TÉRMICA E DE EMISSÃO DE POLUENTES EM FORNOS ROTATIVOS A ÓLEO DE XISTO E GÁS NATURAL

Anderson R. Dallabona¹ (SOCIESC), Daniele da Silva² (SOCIESC), Marcio F. Hupalo (SOCIESC)

¹R: Albano Schmidt, 3333, Boa Vista Cep 89206-001 Joinville SC, anderson.dallabona@sociesc.org.br

²R: Albano Schmidt, 3333, Boa Vista Cep 89206-001 Joinville SC, danielle@sociesc.org.br

O modelo do setor energético brasileiro vem sendo reorientado para a diversificação da matriz energética e utilização de fontes de energia limpa. Neste contexto, emprego do gás natural como fonte energética para fusão de ligas ferrosas apresenta-se como uma alternativa promissora e altamente viável. O crescimento das atividades industriais tem como consequência a intensificação das emissões de poluentes na atmosfera. Muitos destes poluentes são decorrentes da combustão de materiais de origem fóssil, tais como os óleos combustíveis atualmente empregados como fonte energética em fundições. O emprego de gás natural pode reduzir sensivelmente a emissão de poluentes na indústria de fundição. Neste contexto, o presente trabalho apresenta estudos de viabilidade térmica e de emissão de poluentes (material particulado) de fornos rotativos aquecidos a óleo de xisto e gás natural, empregados na fusão de ligas ferrosas. A análise de emissões de poluentes visa coletar dados dos gases, dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x) que são lançados na atmosfera durante a fusão destas ligas. A eficiência térmica de substituição do óleo de xisto por gás natural, durante a fusão de ferros fundidos cinzentos e nodulares em fornos rotativos, será estudada por meio do controle do tempo total de fusão e do levantamento da relação entre volume de combustível empregado e material fundido obtido. Os resultados foram obtidos durante dez séries de fusões de ferros fundidos cinzentos e nodulares, realizadas em fornos rotativos instalados na SOCIESC (gás natural) e em empresa do setor de fundição localizada em Garuva.

1. Gás Natural, 2. Forno Rotativo, 3. Emissão de Poluentes, 4. Fundição

1. INTRODUÇÃO

A indústria metalúrgica tem sido a responsável por grande parte das emissões de poluentes e particulados na atmosfera. Um problema sério nas fundições em termos de poluição atmosférica e de saúde pública são as emissões das unidades de fusão que utilizam como combustível o coque e óleos para o aquecimento do metal, estes são grandes emissores de poluentes, pois a maior fonte não natural de dióxido de enxofre é a combustão de combustíveis fósseis em processos industriais. Durante a combustão, a maior parte do enxofre contido no combustível se oxida para SO₂. A concentração resultante do gás nos produtos de combustão é em função da porcentagem de enxofre contida no combustível e da razão ar/combustível no processo de queima. Nos combustíveis fósseis encontram-se as seguintes quantidades de enxofre, carvão: 0,1% a 6%, óleo residual: 0,75% a 3%, gasolina: 0,04% e diesel: 0,22%.

A preocupação em utilizar produtos que venham a diminuir estas emissões de poluentes, leva a indústria a desenvolver e pesquisar novos combustíveis para minimizar os impactos ambientais causados pela queima destes produtos, por isto se deve o grande avanço na utilização do Gás Natural (GN) nas indústrias, pois é uma fonte de energia segura, versátil e econômica. Sua queima produz baixa emissão de poluentes, é reconhecido como um dos combustíveis que menos geram poluentes, como a fuligem, resíduos metálicos, dióxido de enxofre e o trióxido de enxofre, devido à queima uniforme, exigindo menor quantidade de ar e elimina resíduos de combustão incompleta, proporcionando benefícios significativos para o meio ambiente, além de diminuir o custo operacional com manutenção de máquinas, transporte e armazenamento de combustível. O GN proporciona a otimização do uso de matérias-primas e conseqüente melhora nos processos de produção; aumenta a segurança, a eficiência dos equipamentos e a qualidade do produto final.

Nas indústrias metalúrgicas, os combustíveis utilizados devem apresentar alto poder calorífico para garantir energia suficiente, é o caso dos fornos que devem ser aquecidos a elevadas temperaturas e emitir o mínimo de poluentes possíveis. O GN vem substituindo os derivados de petróleo e energia elétrica, garantindo assim a eficiência térmica desejada, economia, menos agressões ao meio ambiente, pois pode ser utilizado em fornos de tratamento térmico, forno de fusão, geradores de atmosfera, estufas de secagem de núcleos de areia (Shell molding), secadores de areia, caldeiras, acabamento dentre outros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Forno Rotativo

Atualmente varias indústrias estão construindo fornos rotativos, aquecidos a óleo ou gás natural com insuflação de ar quente. Estes tipos de fornos podem ser utilizados para a produção de ligas de metal não-ferroso, assim como para ferro fundido, e até mesmo para fusão de aço. Este tipo de forno só poderá apresentar vantagens para a produção de certos tipos de maleável, porque as condições de operação em geral ocasionam grandes baixos de teor de carbono, e de silício caso este seja da ordem de 2,5%. Na produção de maleável, a perda de silício é menor, em face do baixo teor que é carregado no forno.

Nos fornos de 500 a 1000 kg, as corridas demoram de 70 a 100 minutos, mas para fornos maiores, de 3 a 5 toneladas, o tempo de fusão poderá variar de 130 a 200 minutos, quando se deseja diminuir o tempo, corre-se o risco de maior oxidação, pela necessidade de maior insuflação de combustível e ar.

Em um forno rotativo o metal é aquecido por uma chama dirigida segundo seu eixo de rotação. A chama pode ser obtida com vários combustíveis: óleo, gás, carvão pulverizado, e deve ter as seguintes características:

- Apresentar uma distribuição íntima e homogênea do combustível no ar de combustão;
- Ter um grande diâmetro, ocupando toda a forma interna do forno entre o banho de metal e a abóbada;
- Apresentar um movimento helicoidal, obtido através de um movimento de rotação dado ao ar de combustão, em vez de um movimento retilíneo paralelo ao eixo do forno.

O movimento de rotação do forno que se inicia após a fusão parcial da carga de metal, permite a recuperação do calor acumulado no refratário da abóbada, além de vantagens metalúrgicas tais como o movimento do metal que favorece o desprendimento dos gases e a obtenção de um banho de metal homogêneo.[1]

2.2 GÁS NATURAL: FONTE DE ENERGIA

O gás natural pode substituir com vantagens praticamente todos os demais combustíveis, em especial pela facilidade de manuseio, pelo alto rendimento e pelo menor impacto ambiental. As instalações exigidas para seu aproveitamento são simples e de baixo custo, com fácil adaptação de equipamentos já existentes. O usuário não precisa estocar o produto, o que simplifica e muito o manuseio e poupa espaço nas instalações industriais, e não é necessário prévio aquecimento (comum no caso do óleo combustível). Além disso, o gás canalizado é medido e faturado após uso.

O risco de interrupção do fornecimento, hipótese prejudica a adoção do novo combustível, é mínimo no país após a entrada em operação do gasoduto Bolívia-Brasil. Mas esse risco também pode ser minimizado com os chamados sistemas de alimentação dual: mantendo apenas um pequeno estoque de outro combustível, os usuários não são prejudicados por eventual falta de gás.

Além de apresentar baixo nível de contaminantes, eliminados no tratamento inicial, o gás natural oferece uma combustão considerada “limpa”, por produzir apenas água e gás carbônico (CO₂). Essa emissão de CO₂ é cerca de 30% menor que a de outros combustíveis fósseis, o que significa menor contribuição para o efeito estufa. Isso decorre da relação carbono-hidrogênio: no gás natural, a proporção do primeiro elemento é menor que nos derivados de petróleo.[2]

A queima desse gás não emite materiais particulados ou óxidos de enxofre, poderosos agentes poluidores. Mais leve que o ar, ele também não se acumula na superfície em caso de vazamento, dispersando-se rapidamente na atmosfera, embora seu uso em ambientes fechados (instalações industriais ou residências) apresente riscos e exija cuidados, como qualquer outro combustível.

Os equipamentos (turbinas e motores) movidos a gás natural são pouco afetados pela formação de carvão, o que reduz custos de manutenção e facilita regulagens, para um melhor rendimento energético. Além disso, crescem em todo o mundo os esforços para manter o preço do gás natural competitivo, em relação aos combustíveis convencionais. Essas vantagens, somadas ao ganho energético, possibilitam em diversos setores industriais uma redução dos custos de operação e manutenção. No caso dos veículos, a utilização do gás natural (na forma de gás metano veicular) tem benefícios para o usuário (redução de até 60% dos custos com o combustível e outros) e para a sociedade (menor poluição).

Para o país, as vantagens principais do gás natural são a diversificação da matriz energética, o menor uso do transporte rodoviário-hidroviário de derivados de petróleo (com reflexos na manutenção de rodovias e ferrovias), a maior competitividade das indústrias nacionais, a possibilidade de gerar energia elétrica perto dos centros de consumo, a redução da poluição urbana (por conta da combustão mais limpa) e a menor exigência de investimentos em armazenamento.

2.2.1 UTILIZAÇÃO DO GÁS NATURAL NA INDÚSTRIA

O gás natural para uso industrial é uma fonte de energia segura, eficiente e econômica. Sua queima produz baixa emissão de poluentes, graças a uma combustão mais limpa e eficiente. Além de não agredir o meio

ambiente, o uso do gás natural diminui o custo operacional da indústria, evitando gastos com manutenção, limpeza e compra de equipamentos antipoluição como filtros, lavadores de gás e multi-ciclones.

O gás natural é ainda um combustível versátil, podendo ser usado em diversos equipamentos como caldeiras, secadores, fornos, turbinas, ramais, capotas, oxi-cortes etc. Com o gás natural, muitas indústrias podem melhorar seus processos de produção e otimizar o uso de matérias-primas.

A aplicação do gás natural proporciona, no mercado industrial, mais segurança, produtos de melhor qualidade e abastecimento contínuo. A boa e uniforme qualidade da queima do gás natural o tornam mais eficiente, exigindo menor quantidade de ar, eliminando resíduos de combustão incompleta ou metálica e de óxidos de enxofre, com impacto positivo nos processos industriais. Nos segmentos de vidro, cerâmico, alimento e bebida, por exemplo, a utilização do gás natural como combustível influencia significativamente a qualidade final dos produtos.

O gás natural não exige transporte nem estocagem, não necessita de controle logístico, elimina veículos transitando na fábrica, não agride o meio ambiente e elimina custos de armazenagem e manuseio de combustíveis líquidos. Com todas essas qualidades, o gás natural ainda diminui o custo operacional da indústria, evitando gastos com manutenção, limpeza e compra de equipamentos antipoluição, como filtros, lavadores de gases de combustão, etc.

A utilização do gás natural nas indústrias vem proporcionando benefícios significativos para o meio ambiente, além de diminuir os custos com manutenção de máquinas, transporte e armazenamento de combustível, e aumentando a segurança, eficiência dos equipamentos e a qualidade do produto final.[3]

2.3 Óleo de Xisto

O óleo de xisto é extraído do xisto betuminoso, ou folhelho pirobetuminoso, é uma rocha sedimentar do tipo oleígena, normalmente argilosa, que contém betume e querogênio, um complexo orgânico que se decompõe termicamente e produz óleo e gás.

Ao ser submetido a temperaturas elevadas, o xisto libera um óleo semelhante ao petróleo, água e gás, deixando um resíduo sólido contendo carbono. O xisto é considerado, mundialmente, a maior fonte em potencial de hidrocarbonetos.

O óleo de xisto refinado é idêntico ao petróleo de poço, sendo um combustível muito valorizado. Os EUA detêm a maior reserva mundial, seguidos pelo Brasil, cujo principal depósito fica no Paraná na formação Irati.

Entretanto, trata-se de um processo poluente e economicamente desvantajoso; o processo de exploração tem alto custo, trabalhosa e de pouco retorno. [4,5]

2.4 Poluentes

2.4.1 Monóxido de Carbono

O monóxido de carbono (CO) é um gás inodoro, incolor, insípido produzido por queima incompleta de combustíveis que contém átomos de carbono. Sua toxicidade foi uma das primeiras a ser intensamente investigada. O monóxido de carbono é um gás inerte, não constituindo grande ameaça à vegetação ou aos materiais expostos à atmosfera. No entanto, se aspirado em determinadas quantidades pode causar a morte.

No sangue ele possui um efeito muito perigoso quando forma um complexo estável com a hemoglobina: se aproximadamente 2% dela estiver ligada ao CO, a atividade normal da pessoa fica debilitada. Se esse percentual estiver entre 10 e 20% pode causar a morte do indivíduo. O complexo formado impede o transporte de oxigênio pelo corpo, levando, inicialmente, à inconsciência e depois à morte.[6]

2.4.2 Dióxido de Carbono

O dióxido de carbono (CO₂) é, dos óxidos, o mais abundante, ele é um constituinte natural e é necessário ao crescimento das plantas. A quantidade de dióxido de carbono na atmosfera é de aproximadamente 365 ppm em volume, mas essa quantidade está aumentando cerca de 1 ppm por ano.

A fotossíntese efetuada pelas plantas remove cerca de 360 bilhões de toneladas de CO₂ da atmosfera, a mesma quantidade deve ser devolvida à atmosfera pela respiração de plantas e animais ou pela putrefação dos mesmos.

A queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural), e de florestas liberam para a atmosfera cerca de 25 bilhões de toneladas de CO₂ por ano. A decomposição térmica de calcário na fabricação de cal libera aproximadamente 100 milhões de toneladas de CO₂.

O aumento da quantidade de CO₂ juntamente com outros gases causa o aquecimento geral da atmosfera, o chamado efeito estufa. [6]

2.4.3 Dióxido de Enxofre

O SO₂, muito comum na baixa atmosfera, também é um importante poluente, podendo ser de origem natural ou artificial. O SO₂ natural é proveniente de erupções vulcânicas e da decomposição de animais e vegetais, no solo, nos pântanos e nos oceanos. O artificial resulta da queima de combustíveis fósseis, como o petróleo e seus derivados, como, por exemplo, a gasolina.

A hulha (FeS₂) contém de 1 a 3% de enxofre, sua queima produz também o dióxido de enxofre. Os óleos pesados da destilação de petróleo contêm de 1 a 2% de enxofre. No Brasil esse teor chega a 5%. Um teor de 0,1 a 0,2 ppm já causa danos às pessoas com doenças respiratórias, 0,3 ppm de SO₂ causa sérios danos aos vegetais.

Muitos fatores como temperatura, umidade, intensidade da luz, transporte atmosférico e característica de materiais particulados na superfície podem influenciar as reações químicas formando partículas. Boa parte do dióxido de enxofre na atmosfera é oxidada a ácido sulfúrico e sulfatos, particularmente sulfato de amônio e sulfato de hidrogênio-amônio.

O principal efeito sobre a saúde é no aparelho respiratório, o SO₂ causa irritação e aumenta a resistência do canal respiratório, principalmente em pessoas asmáticas e com deficiência respiratória, além de secreções da mucosa nasal. O SO₂ quando é convertido em ácidos sulfúrico provoca a chuva ácida.[6]

2.4.4 Óxido de Nitrogênio

Dois NO_x são importantes na poluição do ar: o monóxido de nitrogênio (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO₂). Esses poluentes são formados, principalmente, nas câmaras de combustão de motores de veículos, aviões, centrais termoeletricas, fábricas de fertilizantes, de explosivos ou de ácido nítrico, incineradores e queimadas onde, além do combustível, há ar que contém grandes quantidades de nitrogênio e oxigênio que, devido à altíssima temperatura existente, combinam formando os NO_x.

O NO₂ é um gás de cor castanho-avermelhado, de odor característico tóxico e muito irritante.

Os óxidos de nitrogênio sofrem, no meio ambiente, transformações fotoquímicas que levam à formação de ozônio (O₃).[6]

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da pesquisa de campo, os resultados de análises de emissão de poluentes foram coletados em fornos rotativos a gás natural e a óleo de xisto.

Nos fornos rotativos a gás natural, contratou-se uma empresa especializada em análises de emissões de poluentes e particulados para geração e levantamentos dos dados, os quais também foram obtidos com o equipamento existente na instituição. Devido à proximidade e repetitividade dos dados, para o forno rotativo a óleo de xisto, utilizou-se apenas o equipamento da instituição.

As coletas ocorreram durante o processo de fusão de ferro fundido cinzento e nodular, as temperaturas dos gases nas chaminés eram em torno de 700 °C.

O modelo do equipamento da instituição, TEMPEST 100 TELEGAN, oferece medições básicas de O₂, CO, NO, calcula o teor de CO₂, NO_x e SO₂.

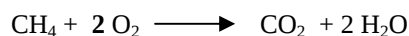
O modelo do equipamento da empresa contratada, TESTO 350XL, é um analisador de gases portátil que mede CO, NO_x, SO₂, %O₂, H₂S velocidade e temperatura. O analisador pode: afinar todo o tipo de fontes de combustão; medir durante um longo período de tempo, medir os gases de todo o tipo de processos de combustão e exaustão, e verificar a pressão e velocidade do efluente gasoso. É constituído pela unidade de controle, o analisador e a sonda. Pode calcular estequiometricamente a % CO₂.

No sentido do estudo da eficiência térmica, o forno rotativo teve os dados coletados durante as dez fusões.

3.1 Equações Estequiométricas

3.1.1 Equação Estequiométrica de Combustão com Gás Natural

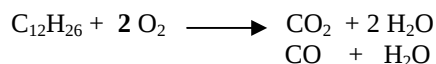
Gás Natural – CH₄



O gás natural combinado com o oxigênio, forma em sua combustão água e dióxido de carbono, porém em menor quantidade.

3.1.2 Equação Estequiométrica de Combustão com Óleo de Xisto

Óleo de Xisto – $C_{12}H_{26}$



O óleo de xisto combinado com o oxigênio, forma em sua combustão água, dióxido de carbono e monóxido de carbono, porém em maiores quantidades.

4. RESULTADOS

A média dos resultados obtidos são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 1: Emissões de Poluentes

Tipo de Combustível/ Gases	O ₂ (%)	CO (ppm)	CO ₂ (%)	NO ₂ (mg/m ³)	SO ₂ (ppm)
Gás Natural	20,7	0,0	0,1	177,4	0,2
Óleo de Xisto	17,7	3	2,4	219 ppm	6

Os resultados que foram obtidos demonstram diferentes condições de excesso de ar, de forma que diferentes porcentagens de O₂ nos produtos de combustão. Isto significa que a maior disponibilidade de oxidante na chama, ocorrendo uma menor quantidade de material particulado. A quantidade de material particulado emitido pelo gás natural é menor que o óleo de xisto devido a mistura do gás ser mais rápida e por não envolver quebra complexa de cadeias das moléculas como o óleo.

Os valores de monóxido de carbono apresentados durante a fusão com gás natural revelam que a relação estequiométrica da combustão apresenta valores mínimos, podendo-se dizer que não há presença de CO. Já para o óleo de xisto, existe um valor considerável deste gás como resultado da combustão. Para os valores de dióxido de carbono, detectou-se o mesmo mecanismo de reação.

Devido à presença de ar na entrada dos fornos, parte do oxigênio misturado à queima reage com o nitrogênio presente no ar, desde modo forma-se dióxido de nitrogênio. Esta reação caba ocorrendo em ambos os fornos.

As emissões de dióxido de enxofre utilizando o gás natural foram extremamente inferiores em se comparado ao óleo de xisto, visto que a quantidade de enxofre presente no óleo é maior que o gás natural, sendo que no gás natural é adicionado em pequenas somente por motivo de segurança.

A eficiência térmica mostrada pelo forno utilizando gás natural tem valores similares aos encontrados nos fornos a óleo de xisto, tanto nos valores de tempo de fusão quanto a temperatura alcançada pelo metal fundido. A diferença de tempo entre um forno e outro é de relativamente insignificante, variando em torno de 90 a 110 minutos para fusão com gás natural e de 80 a 100 minutos para óleo de xisto. A temperatura de ambos os fornos durante o vazamento também se manteve sem grandes diferenças, na ordem de 1450 a 1490°C.

5. CONCLUSÃO

Devido o gás natural ser um combustível de fonte limpa, ou seja, permitir combustões com menores quantidades de emissões de poluentes e ter a mesma eficiência térmica e energética de outros combustíveis, como o óleo de xisto, é possível sua utilização em fornos rotativos para fusão de ferros fundidos cinzentos e nodulares. Sendo assim, o presente estudo teve o intuito de comparar a troca do combustível óleo de xisto para gás natural, no aspecto ambiental, demonstrando sua eficiência térmica.

Durante este estudo pode-se comprovar o que já havia sido previsto, realmente o gás natural emite menor quantidade de poluentes que o óleo de xisto, sendo que as coletas aconteceram durante as fusões de ferros fundidos cinzentos e nodulares em fornos rotativos em condições operacionais.

Fica evidenciado que não somente para a área de fusão o gás natural pode ser utilizado, mas também no processo de tratamento térmico, confecção de núcleos de areia, aquecimentos dos equipamentos para vazamento e para outros setores da indústria que necessitam de fonte energética, por demonstrar economia, facilidade de manuseio, eficiência térmica e uma diminuição na emissão de poluentes.

6. AGRADECIMENTOS

Ao Sr. Demilson Rogério Silveira, pela sua atenção e colaboração para a realização de parte deste estudo.

Aos colaboradores da Sociedade Educacional de Santa Catarina – SOCIESC, em especial aos integrantes do Projeto Aplicação de Gás Natural para Fusão de Ligas Ferrosas.

7. REFERÊNCIAS

1. SIEGEL, Miguel. **Curso de Fundição**. Promovida pela Associação Brasileira de Metais – ABM, Maio, 1963.
2. ABREU, Percy Louzada de; MARTINEZ, José Antonio. **Gás Natural o Combustível do Novo Milênio**. Porto Alegre, RS, Plural Comunicações, 1999.
3. Revista Tecnologia, **Ciência Hoje, Gás Natural O Combustível do Século 21**. Vol. 28. SBPC, Setembro, 2000.
4. PETROBRÁS. Desenvolvido pela Petróleo do Brasil. Apresenta informações sobre combustíveis. Disponível em: <<http://www2.petrobras.com.br/espacoconhecer/Produtos/xisto.asp>>. Acessado em: 03 maio 2007.
5. USP. Desenvolvido pela Universidade de São Paulo. Apresenta informações sobre trabalhos, pesquisas e informações gerais da universidade. Disponível em: <<http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo1A/xisto.html>>. Acessado em: 17 abril 2007.
6. UNEF. Desenvolvido pela Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana. Apresenta informações sobre trabalhos e curiosidades gerais sobre a instituição. Disponível em: <http://www.uenf.br/uenf/centros/cct/qambiental/ar_polinorg.html>. Acessado em: 23 abril 2007.

THERMAL EFFICIENCY AND POLLUTANT EMISSION STUDIES IN OIL AND GAS-FIRED ROTATING FURNACES

The Brazilian energy model has been reoriented towards diversification of the energy matrix and use of clean-power plants. The natural gas rises as a promising and highly viable energy source for casting of iron alloys. The growth of industrial activities results in higher air pollutant emissions. Many of these pollutants appear as residues of fossil origin materials combustion, such as fuel oils generally used as energy source in the casting industry. The use of natural gas can significantly reduce the emission of gases and particulate material. The present work aimed in the study of thermal efficiency and pollutant emission during casting of iron alloys in oil and gas-fired rotating furnaces. The pollutant emission analysis was conducted in order to identify the presence of sulfur dioxide (SO₂), carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂) and nitrogen oxides (NO_x), gases regularly launched in the atmosphere during the casting of iron alloys. Substitution of fuel oil by natural gas necessarily involves the study of its thermal efficiency. This study was accomplished during casting of gray and ductile cast irons, by means of controlling the total fusion time and determining the ratio between the cast material and the volume of fuel oil and natural gas used. Five heats of both gray and ductile cast irons were obtained in rotating furnaces installed in SOCIESC (natural gas) and in a company of the casting sector located in Garuva (fuel oil).

Natural Gas-1, Rotating Furnace -2, Pollutant Emission -3, Casting -4.

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.