

ENTENDIMENTO DOS MECÂNIISMOS DE FORMAÇÃO DE NO_x E SO₂ NO FORNO DE PELOTIZAÇÃO DE VARGEM GRANDE EM RITMO REDUZIDO DE PRODUÇÃO¹

Camila Luzia Lira Duarte²

Camilo Cienfuegos³

Fernando Luiz Câmara Campos Júnior⁴

Frederico Correa Mayerhorfer⁴

João Sérgio Agostinho Bonzi⁶

Rossano Augusto Pilon Nunes⁵

Weiller Ângelo da Silva⁷

Resumo

Devido ao novo cenário macroeconômico mundial, as demandas de matéria-prima para produção de aço sofrem flutuações severas em determinados períodos, acompanhado obviamente o ritmo de produção determinado pelo mercado. A pelota por ser uma matéria-prima nobre, em situações de uma retração do mercado mundial de produção de aço, sofre cortes severos o que obrigando as plantas a trabalharem com ritmos bem reduzidos. Plantas com capacidade de produção da ordem de 7Mt/ano podem atingir condições operacionais da ordem de 50% da capacidade nominal. Esta condição pode resultar em situações operacionais que se aproximem dos limites técnicos do processo. Este diagnóstico elucida o entendimento dos mecanismos já conhecidos na literatura reforçando principalmente as limitações de processo e produção em operação reduzida.

Palavras-chave: Pelotização; Emissões; NO_x; SO₂.

FORMATION MECHANISMS UNDERSTANDING OF NO_x AND SO₂ IN TO THE VARGEM GRANDE PELLETIZING FURNACE IN LOW PRODUCTION CAPACITY

Abstract

Due the new word macroeconomic scenario, the raw materials demand for iron and steelmaking suffers heavy oscillations in certain periods, following the production rhythms determined by the market. The pellet being a prime raw material, in situations of an iron and steelmaking retraction, suffers several cuts that force the plants to work with very low productions rhythms, plants with capacity production around 7Mt/year can reach operation situations around 60% the nominal capacity. This situation can results in operational conditions that approaching the process technical limits. This diagnostic elucidate the knowledge of mechanisms known in the literature reinforcing mainly the limitations of process e production in low production capacity.

Key words: Pelletizing; Emissions; NO_x; SO₂.

¹ Contribuição técnica ao 43º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 1º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 1 a 4 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Engenheira Química, Gerência de Área de Produção, Usina de Pelotização de Vargem Grande, Vale, MG, Brasil.

³ Biólogo, Gerência de Área, Unidades Técnicas das Pelotizações de Minas Gerais, Vale, MG, Brasil.

⁴ Engenheiro Metalurgista, Gerência de Área, Unidades Técnicas das Pelotizações de Minas Gerais, Vale, MG, Brasil.

⁵ Eng. Metalurgista, Gerência de Área, Engenharia de Processos da Pelotização, Vale, MG, Brasil.

⁶ Técnico em Metalurgia, Gerência de Área, Unidades Técnicas das Pelotizações de Minas Gerais, Vale, MG, Brasil.

⁷ Engenheiro de Produção, Gerência de Área, Engenharia de Processos da Pelotização, Vale, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A pelota, por ser um insumo nobre e de alto valor agregado, em situações de baixa demanda de produção de aço sofre cortes severos em composição de cargas dos altos-fornos, impactando diretamente no ritmo de produção das usinas de pelotização.

Nesta condição operacional, a Pelotização de Vargem Grande trabalhou em condições reduzidas de produção, chegando a trabalhar até 50% da capacidade nominal da usina.

Para entender os mecanismo de formação de NO_x e SO_2 nestas condições de processo, foram realizadas medições na chaminé 02 do forno de tratamento térmico de pelotas para conhecimento das concentrações e com objetivo principal de correlacionar as concentrações aos dados de processo neste período.

Com estas correlações e o conhecimento já publicado sobre o assunto, este trabalho apresenta as interpretações e conclusões sobre os mecanismos de formação de NO_x e SO_2 no forno de tratamento térmico de pelotas da Usina de Vargem Grande.

2 OBJETIVO

Apresentar o resultado das medições e as interpretações mediante as variações de processo durante os dias 12/03 a 16/03/2012 na Usina de Pelotização de Vargem Grande.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Materiais

Para medição das concentrações de SO_2 , NO_x , CO , CO_2 e O_2 foi utilizado um analisador portátil e contínuo de gases denominado PG-250 (Figura 1). O PG-250 é um analisador contínuo de gases fabricado pela *HORIBA Instruments* sendo capaz de monitorar a concentração simultaneamente até cinco gases.

O instrumento *HORIBA* detecta os óxidos de nitrogênio por quimiluminescência. A quimiluminescência está baseada no espectro de emissão de uma espécie excitada que é formada no decorrer de uma reação química. A medida da intensidade de quimiluminescência permite a determinação quantitativa de uma variedade de espécies orgânicas e inorgânicas importantes em concentrações muito baixas (traços). As estações de monitoramento contínuo CEMS utilizam o mesmo método para detecção do NO_x , que juntamente com o infra-vermelho não dispersivo constituem os dois métodos mais utilizados.

Para coleta dos efluentes gasosos o equipamento possui uma sonda de aço inox específica para este tipo de monitoramento, juntamente com as mangueiras e conexões até a unidade medidora de gases.



Figura 1. Analisador de gases PG-250.

3.2 Metodologia de Análise

As técnicas de medição das emissões de SO_2 , CO e CO_2 foram avaliadas a partir do princípio de “Absorção de Infravermelho Não Dispersivo”, enquanto que as emissões de NO_x foram monitoradas pelo princípio de “Quimiluminescência”. Para as medições de O_2 utilizou-se o princípio paramagnético.

3.3 Banco de Dados

Os dados levantados foram coletados com algumas descontinuidades devido a instabilidade operacional da planta pelas fortes chuvas no período. As descontinuidades foram suprimidas e as retomadas operacionais. Para facilitar as análises os dados foram agrupados de hora em hora.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados coletados e tratados durante o período de medição são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Emissões mensuradas pela ECOSOFT

Data	NO _x	SO ₂	CO	CO ₂	O ₂
	[mg/Nm ³]	[MG/Nm ³]	[ppm]	[%]	[%]
13/3/12 14:00	254,12	17,93	127,27	1,43	18,30
13/3/12 18:00	292,04	11,12	68,32	1,26	18,37
13/3/12 19:00	508,09	129,85	151,70	1,91	17,82
13/3/12 20:00	556,24	178,98	177,38	1,94	17,84
13/3/12 21:00	562,65	168,40	193,26	1,99	17,84
13/3/12 22:00	596,79	190,32	239,65	2,11	17,39
14/3/12 8:00	686,92	243,75	293,07	2,35	17,77
14/3/12 9:00	696,43	268,20	324,87	2,46	17,63
14/3/12 10:00	713,65	26,84	325,50	2,45	17,66
14/3/12 11:00	641,77	15,92	252,43	2,18	17,84
Data	NO _x	SO ₂	CO	CO ₂	O ₂
	[MG/Nm ³]	[MG/Nm ³]	[ppm]	[%]	[%]
14/3/12 13:00	633,51	0,00	295,92	2,26	17,58
14/3/12 14:00	623,29	46,04	325,15	2,29	17,44
14/3/12 16:00	167,93	0,84	51,58	0,88	19,08
14/3/12 17:00	559,95	42,80	308,67	2,29	17,46
15/3/12 15:00	177,36	52,50	21,33	1,07	18,62
15/3/12 19:00	257,43	38,09	81,07	1,62	18,30
15/3/12 20:00	488,02	179,11	244,23	2,42	17,62
15/3/12 21:00	517,33	207,68	290,15	2,54	17,57
15/3/12 22:00	536,73	224,27	317,60	2,59	17,54
15/3/12 23:00	537,79	254,79	318,49	2,54	17,62
16/3/12 8:00	600,77	320,50	390,01	2,67	17,54
16/3/12 9:00	581,19	330,64	372,57	2,59	17,61

Os dados de processo foram coletados no mesmo período de medição com a finalidade de entendimento dos mecanismos de formação de NO_x e SO₂ e comparação destes comportamentos com que há de conhecimento na literatura. As Tabelas a seguir apresentam os dados de processo da Usina de Vargem Grande no período de medições.

Tabela 2. Variáveis de processo

Data	Produção	Consumo	Consumo	Recup	Perfil
	Forno	De gás	antracito		Queima
	[t/h]	[m ³ /h]	[kg/t]	[°C]	[°C]
13/3/12 18:00	280	8,89	16,73	679,57	1235,01
13/3/12 19:00	307	8,04	17,08	826,25	1289,56
13/3/12 20:00	366	7,57	22,31	880,87	1300,25
13/3/12 21:00	444	7,51	17,72	906,42	1299,78
13/3/12 22:00	474	7,38	17,31	915,75	1300,19
14/3/12 8:00	469	6,49	16,85	963,46	1300,18
14/3/12 9:00	482	6,47	17,23	977,51	1299,39
14/3/12 10:00	514	6,73	17,31	980,13	1300,10
14/3/12 11:00	346	6,00	19,38	956,48	1292,48
14/3/12 12:00	384	6,26	28,74	971,89	1300,26
14/3/12 13:00	408	6,14	14,15	980,25	1300,14
14/3/12 16:00	308	5,62	16,95	792,28	1125,78
14/3/12 17:00	434	6,95	12,79	902,51	1295,26
15/3/12 19:00	253	8,55	17,06	665,14	1249,17
15/3/12 20:00	380	7,64	17,04	828,80	1296,42
15/3/12 21:00	430	7,37	17,07	846,78	1300,11
15/3/12 22:00	483	6,91	19,88	878,71	1300,24
15/3/12 23:00	570	6,98	13,95	903,58	1299,42
16/3/12 8:00	637	6,86	17,58	967,41	1299,85
16/3/12 9:00	633	7,28	13,63	962,86	1296,84

Tabela 3. Variáveis de processo - ventiladores

Data	Produção	Ventilador	Ventilador	Ventilador
	Forno	05	07	08
	[t/h]	[RPM]	[RPM]	[RPM]
13/3/12 18:00	280	393,01	321,74	0,00
13/3/12 19:00	307	466,16	268,92	0,00
13/3/12 20:00	366	470,62	267,62	0,00
13/3/12 21:00	444	480,14	269,76	74,13
13/3/12 22:00	474	427,45	336,79	342,25
14/3/12 8:00	469	456,75	402,87	365,80
14/3/12 9:00	482	456,02	288,33	365,22
14/3/12 10:00	514	485,52	342,27	388,78
14/3/12 11:00	346	395,39	273,27	317,74
14/3/12 12:00	384	403,07	267,72	322,89
14/3/12 13:00	408	414,47	274,49	309,14
14/3/12 16:00	308	329,37	416,68	214,48
14/3/12 17:00	434	468,80	397,55	310,65
15/3/12 19:00	253	369,15	348,80	0,00
15/3/12 20:00	380	440,74	328,20	326,43
15/3/12 21:00	430	454,17	326,95	363,78
15/3/12 22:00	483	471,77	325,20	377,88
15/3/12 23:00	570	539,98	323,46	432,44
16/3/12 8:00	637	552,38	450,92	442,29
16/3/12 9:00	633	564,79	451,36	452,38

A concentração resultante de SO₂ nos produtos de combustão é função da porcentagem de enxofre contida no combustível e da razão ar/combustível segundo Signoretti.⁽¹⁾

Não se controla diretamente a relação ar/combustível em Vargem Grande, isto é controlado de forma indireta através da elevação da temperatura mediante a elevação do volume de gás injetado.

Dos dados analisados, a correlação entre os níveis de produção e a emissão de SO₂ elevada (r = 0,95), embasando que a emissão de SO₂ está diretamente associada ao consumo de combustível sólido.

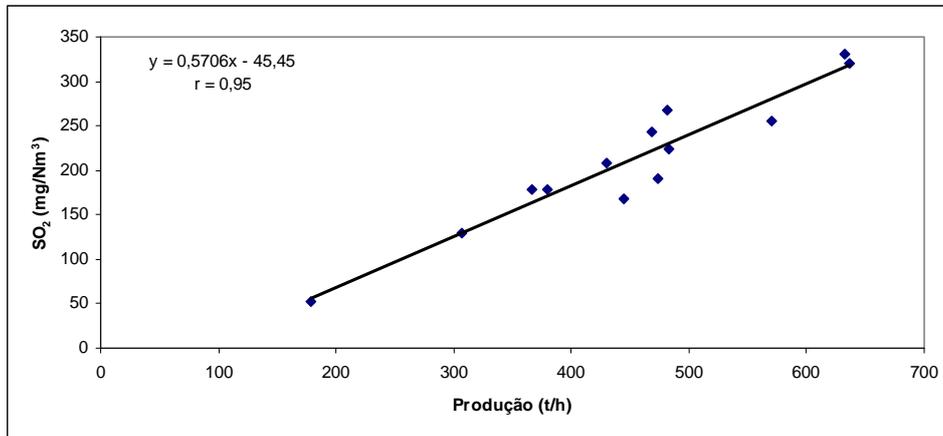


Figura 2. Correlação entre o ritmo de produção e a emissão de SO₂.

Em relação à formação do NO_x, Gallego et. al.⁽²⁾ citam que o mesmo pode ser obtido por três mecanismos diferentes:

- a reação do nitrogênio atmosférico com o oxigênio a altas temperaturas, formando o NO_x de origem térmica;
- reação de hidrocarbonetos livres com a molécula de nitrogênio formando o NO_x prompt; e
- a reação do nitrogênio existente no combustível formando o NO_x combustível;

Analisando os dados, nota-se que a formação de NO_x apresenta uma tendência de estabilização para produções mais elevadas. A Figura 3 apresenta o comportamento da formação de NO_x no processo de produção de pelotas durante as medições.

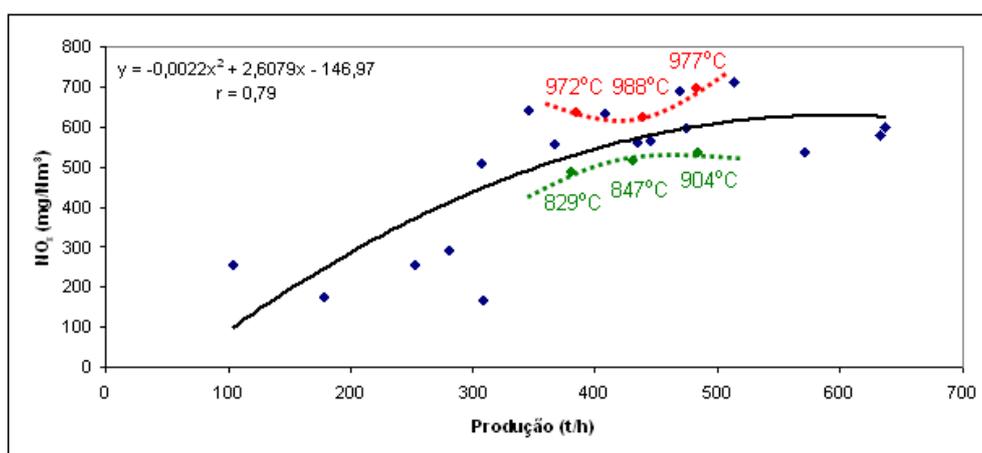


Figura 3. Comportamento da formação de NO_x mediante a variação do ritmo de produção.

De fato o volume de produção apresentou influência na concentração de NO_x no gás de combustão, porém, para volume de produções semelhantes o que é mandatório na formação do NO_x é a variação de temperatura.

Ao analisar comparativamente os dados de emissão de NO_x com a temperatura de recuperação do forno, chega-se a conclusão de que o mecanismo predominante durante o período de medição foi realmente o mecanismo do NO_x térmico, pois foi verificada grande influência da temperatura de recuperação do forno com a concentração de NO_x mensurada. Este comportamento é um ponto de atenção, pois de acordo com Chigier,⁽³⁾ a formação de NO_x aumenta exponencialmente com a elevação de temperatura (Figura 4).

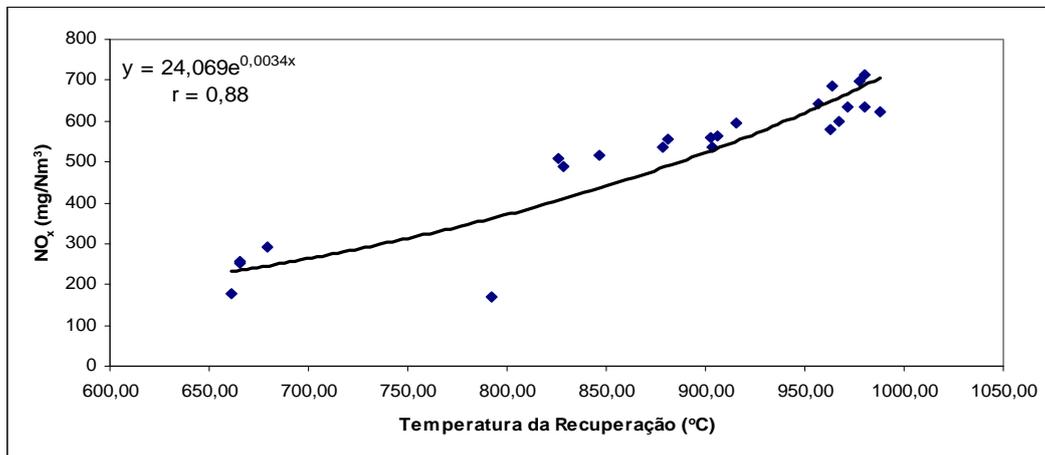


Figura 4. Comportamento da formação de NO_x mediante a variação da temperatura de recuperação.

Com a finalidade de modelar inicialmente a condição de formação de NO_x em relação as variáveis que influenciam de forma considerável, Produção Horária e Temperatura da Recuperação, uma superfície de resposta foi gerada utilizando o software MINITAB. A Figura 5 apresenta a superfície de resposta e a equação que correlaciona a formação de NO_x com produção e temperatura - NO_x = f(produção (t/h), temperatura da recup (°C)).

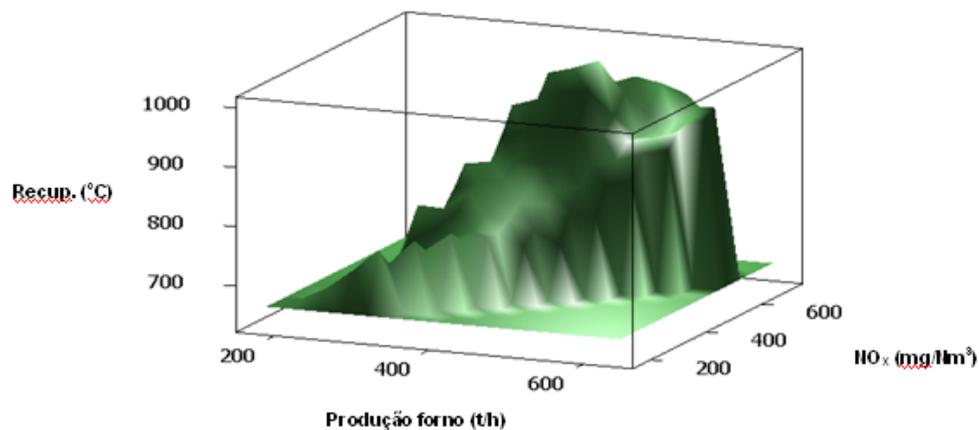


Figura 5. Superfície de resposta NO_x = f(produção (t/h), temperatura de recuperação (°C)).

Com a análise dos resultados da regressão, pode-se observar um R²=0,844 e a seguinte Equação:

$$\text{NO}_x(\text{mg/Nm}^3) = - 716 - 0,010 \text{ Produção forno (t/h)} + 1,41 \text{ Recup.}(\text{°C})$$

5 CONCLUSÕES

- A concentração de SO_2 nos gases de combustão da Usina de Vargem Grande está diretamente ligada ao volume de combustível sólido dosado na mistura;
- verificou-se que tanto a elevação do volume de produção quanto a temperatura do processo propiciaram a maior formação de NO_x , porém em mesmos patamares de produção a temperatura influencia de forma exponencial, tornando-se mandatória em relação à formação de NO_x ; e
- o modelamento matemático dos dados referentes ao período de teste comprova a afirmação de que a temperatura é mandatória ao se falar em formação de NO_x em sistemas de combustão.

REFERÊNCIAS

- 1 SIGNORETTI, Valdir Tesche, Controle das Emissões de NO_x , SO_x e Metais Pesados Quando se Utilizam Combustíveis Alternativos e de Alto Teor de Enxofre na Indústria de Cimento. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Itajubá, julho de 2008.
- 2 GALLEGO, Antônio Garrido et al., Emissões de NO_x em Turbinas a Gás – Mecanismo de Formação e Algumas Tecnologias de Redução. In: Revista de Ciência e Tecnologia, edição 15, pp13-22, 2000.
- 3 CHIGIER, N. *Energy, Combustion and Environment*. U.S.A.: McGraw-Hill, 1981.