

ANÁLISES DE ASPECTOS GEOMÉTRICOS DE CONVERTEDORES BOF E CORRELAÇÕES COM PARÂMETROS DE PROCESSOS*

Breno Totti Maia¹
Romário Da Rocha Nascimento²
Willian dos Reis Lima³

Resumo

O aumento contínuo da produção de aço nas últimas décadas, fez com que usinas siderúrgicas se adaptassem a novas demandas a fabricação de aço. Este estudo teve como objetivo analisar os reatores que variam de 6-350 toneladas de aço vazado correlacionado seus parâmetros dimensionais e com a ajuda de uma ferramenta de extrapolação de dados, propor dimensionalmente um convertedor de 800 toneladas. Finalizando, verificando a correlação entre os aspectos importantes como: altura do nível do banho estático, relação de esbeltez e relação carga / volume. Os resultados mostram a grande variação dimensional entre os reatores. Em alguns casos, mesmo com capacidades semelhantes, os reatores são diferentes devido fabricantes diferentes. Em casos específicos, os reatores têm uma tendência para obter idealidade (volume específico igual a 1) ou superar com ele o nível adimensional tende a diminuir.

Palavras-chave: BOF; Convertedor 800 toneladas; Correlação de parâmetros; Volume Especifico

ANALYSIS OF GEOMETRICAL ASPECTS OF BOF CONVERTERS AND CORRELATIONS WITH PROCESS PARAMETERS

Abstract

The continuous increase of the production steel in the last decades, caused the adjusted in steel plants in adapt in the new demand the acquiring manufactured steel. This study aimed to analyze the reactors ranging 6-350 tons of steel cast correlated their dimensional parameters and with the help of the tool data extrapolation, to propose the furnace of 800 tons. Ultimately, were checked the correlation between the important aspects as, height of boom, e slenderness ratio relation and charge/volume relation. The results show the large dimensional variation between the reactors. In some cases even with similar capabilities, the reactors are different due different manufacturers. In specific cases, the reactors have a tendency to get ideality (specific volume equal 1) or overcome with it the dimensionless level tends to decrease.

Keywords: BOF; 800 tons converter; Correlation dimensional parameters; Specific Volume.

¹ Engenheiro Metalurgista e Doutor Pesquisador da Lumar Metals, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Minas Gerais Brasil - Sócio da ABM;

² Engenheiro Mecânico, Universidade Católica do Leste de Minas Gerais (Unileste). Coronel Fabriciano, Minas Gerais, Brasil

³ Engenheiro Mecânico e Analista da Lumar Metals, Universidade Católica do Leste de Minas Gerais (Unileste). Coronel Fabriciano, Minas Gerais, Brasil – Sócio da ABM;;

1 INTRODUÇÃO

Ao analisar informações obtidas por Usinas Siderúrgicas mundiais de refino primário (Aciaria a oxigênio), foi possível identificar (dentre as empresas analisadas) a variação de capacidade de cada reator, especificamente 6 a 350 toneladas de aço vazado. A variação de capacidade está diretamente relacionada com a faixa de produção de aço anual das siderúrgicas, ou seja, quanto menor capacidade do reator menor a capacidade de produção e assim sucessivamente.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo estudar o comportamento geométrico dos convertedores a oxigênio, analisando-os, correlacionando-os e fazendo projeções futuras. Em seguida, pelo método de extrapolação de dados, propor o dimensionamento de um convertedor não existente na indústria.

A metodologia adotada foi realizada através da obtenção e avaliação quantitativa de dados reais da indústria siderúrgica. A obtenção desses dados se fez por meio de planilhas em Excel enviadas às empresas, sob prévia comunicação, nos quais constavam tabelas a serem preenchidas, solicitando informações técnicas sobre parâmetros de operação, bem como parâmetros dimensionais dos reatores utilizados pelas empresas consultadas. Esta planilha é chamada de *Data Reference*. As empresas preencheram as tabelas e as devolveram devidamente preenchidas com as informações requisitadas. Obtidas as informações necessárias, iniciou-se então a análise qualitativa desses parâmetros, fazendo-se a correlação e cruzamento de dados.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada, foi baseada no envio de um formulário em Excel nomeado como *Data Reference*. Este formulário é constituído de 2 abas, onde a primeira solicita os dados dimensionais dos convertedores, assim como dados de processos. A segunda aba solicita dados dimensionais e de processo dos bicos de oxigênio.

As Figura 1 e 2 abaixo representam a primeira aba do formulário, enquanto as Figura 3 e 4 abaixo representam a segunda aba do formulário.

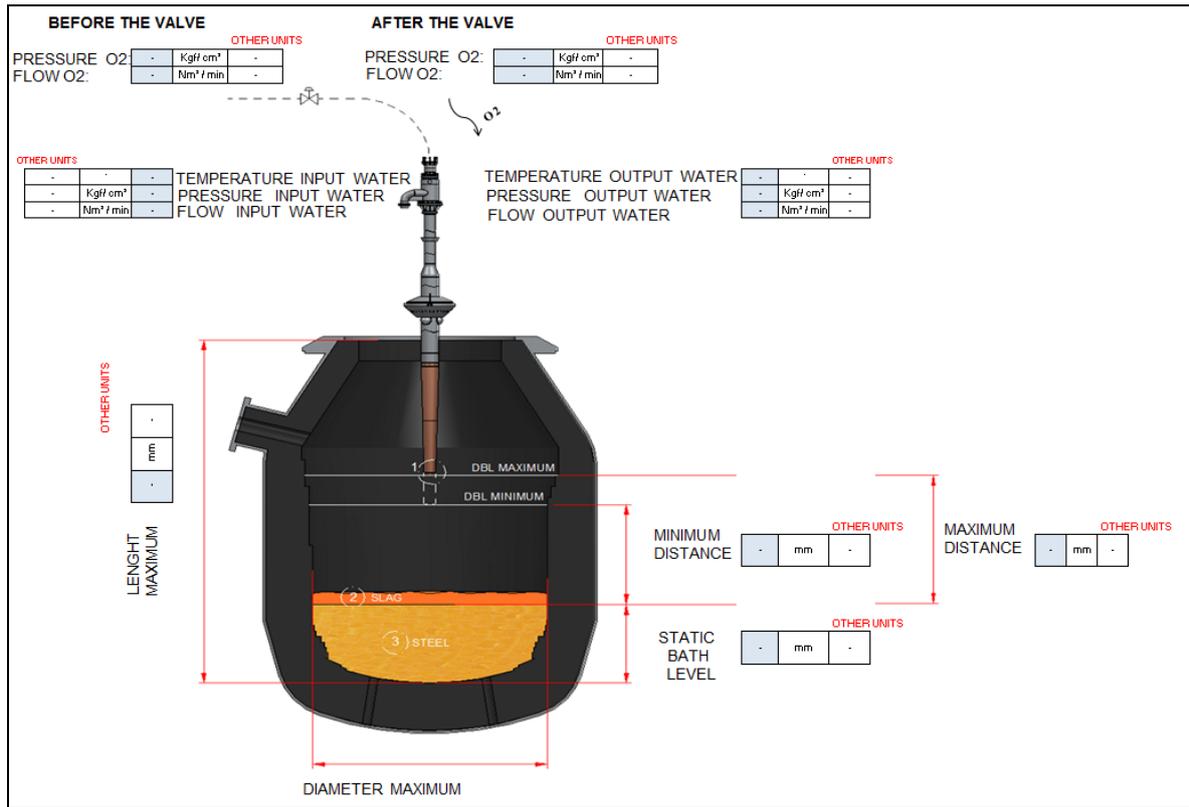


Figura 1 Data Reference Aba I [1]

CONVERTER INFORMATIONS	VALUE	UNIT	OTHER UNITS
NUMBERS CONVERTERS	-	QUANT.	-
ANNUAL NOMINAL CAPACITY	-	t	-
ANNUAL ACTUAL CAPACITY	-	t	-
	-	-	-

HOT METAL INFORMATIONS	VALUE	UNIT	OTHER UNITS
WEIGHT:	-	t	-
Si	-	%	-
C	-	%	-
Mn	-	%	-
P	-	%	-

3 - SLAG INFORMATIONS	VALUE	UNIT	OTHER UNITS
CaO	-	%	-
SiO2	-	%	-
FeO	-	%	-
TOTAL SLAG AMOUNT AVERAGE	-	%	-
BINARY BASICITY AVERAGE	-	%	-

REQUIRED DRAWINGS	VALUE	UNIT	OTHER UNITS
LANCE TIP	-	-	-
CONVERTER (SIDE VIEW AND TOP VIEW OF	-	-	-
ANNUAL ACTUAL CAPACITY	-	-	-
	-	-	-

4 - TUYERES INFORMATIONS	VALUE	UNIT	OTHER UNITS
NUMBER:	-	QUANT.	-
FLOW PER EACH:	-	Nm ³ /min	-
PRESSURE PER EACH	-	Kgff/cm ²	-
	-	-	-

Figura 2 Data Reference Aba I [1]

Empresa	Capacidade (t)	Altura da Lança repouso nível (mm)	DBL (mínimo) (mm)	DBL (máximo) (mm)	Altura do Banho Estático (Lo) (mm)	Altura da Lança repouso sola (mm)	L para DBL Máximo (mm)	L para BBL Mínimo (mm)	(Diâmetro Forno) (Do) (mm)
EMPRESA 1	6	150	150	250	600	2400	155	203	850
EMPRESA 2	22	0	700	2100	1035	2025	0	0	2370
EMPRESA 3	30	0	800	1200	890	0	450	0	2700
EMPRESA 4	30	0	800	1200	890	0	450	0	2700
EMPRESA 5	30	0	650	1500	950	6300	0	0	2400
EMPRESA 6	35	0	800	1200	1100	0	0	0	2772
EMPRESA 7	50	0	750	1333	1031	0	0	0	3372
EMPRESA 8	70	0	1100	2500	1146	0	0	0	3934
EMPRESA 9	75	0	1673	1964	1384	0	0	0	3732
EMPRESA 10	80	0	1900	0	1779	0	0	0	4168
EMPRESA 11	130	0	1400	2600	1400	0	0	0	4770
EMPRESA 12	150	0	1000	1300	1372	0	0	0	5570
EMPRESA 13	150	0	1500	3000	1285	0	0	0	5570
EMPRESA 14	160	0	1800	2300	1286	0	0	0	5060
EMPRESA 15	160	0	1800	2300	1286	0	0	0	5060
EMPRESA 16	160	0	1800	2400	1286	0	0	0	5060
EMPRESA 17	170	0	1500	2000	1518	0	0	0	5560
EMPRESA 18	175	0	1400	2070	1200	0	711	0	4791
EMPRESA 19	175	0	1220	2000	1758	0	0	0	6920
EMPRESA 20	180	20925	1600	2300	1915	22840	524	0	5570
EMPRESA 21	180	0	2000	2600	1726	0	636	0	5172
EMPRESA 22	200	17707	1600	2800	1718	19425	0	0	5716
EMPRESA 23	200	17707	1600	2800	1718	19425	0	0	7440
EMPRESA 24	210	0	1651	1981	1984	0	634	0	4876,8
EMPRESA 25	210	19000	0	2290	1800	15240	650	0	6150
EMPRESA 26	220	0	1500	2800	1500	0	971	0	5962
EMPRESA 27	265	0	1750	3111	1822	0	696	0	5638
EMPRESA 28	265	0	1750	3111	1822	0	0	0	5638
EMPRESA 29	265	0	1750	3111	1822	0	0	0	5638
EMPRESA 30	300	19000	1600	2290	1800	15240	650	0	6150
EMPRESA 31	320	9000	2000	3600	2200	11000	0	0	6065
EMPRESA 32	320	9000	2000	3600	2200	11000	0	0	6065
EMPRESA 33	330	0	2700	3500	1855	0	0	0	7156
EMPRESA 34	330	0	1500	2900	1855	0	0	0	6380

Tabela 1 Parâmetros de operação do forno ^[1]

Empresa	Vida Convertedor (Corrida)	Vida ventaneiras (Corrida)	Vazão de borbulhamento (Nm ³ /h)	Altura do Forno (revestido) (mm)	Volume Convertedor (m ³)	Relação Esbelteza (H/D)	Volume Específico
EMPRESA 1	0	0	0	2200	1,3	2,6	0,2
EMPRESA 2	76	0	50	4850	18,26	2,0	0,8
EMPRESA 3	5526	0	0	4332	22	1,6	0,7
EMPRESA 4	5200	0	0	4332	22	1,6	0,7
EMPRESA 5	1000	0	0	4870	22,5	2,0	0,8
EMPRESA 6	0	0	0	5628	27,39	2,0	0,8
EMPRESA 7	23047	0	0	6236	48	1,8	1,0
EMPRESA 8	0	0	0	6107	58,89	1,6	0,8
EMPRESA 9	0	0	0	6456	57,9	1,7	0,8
EMPRESA 10	150	150	170	6339	67,05	1,5	0,8
EMPRESA 11	4000	0	0	7260	103,9	1,5	0,8
EMPRESA 12	1674	0	0	8166	158	1,5	1,1
EMPRESA 13	4500	0	0	7912	158	1,4	1,1
EMPRESA 14	5500	4500	450	7615	120	1,5	0,8
EMPRESA 15	5500	4500	450	7615	120	1,5	0,8
EMPRESA 16	5300	300	440	7615	130	1,5	0,8
EMPRESA 17	4000	0	0	8171	152,6	1,5	0,9
EMPRESA 18	4500	2650	120	7639	141,8	1,6	0,8
EMPRESA 19	3000	2000	480	8480	141,8	1,2	0,8
EMPRESA 20	0	0	720	8750	178	1,6	1,0
EMPRESA 21	0	0	700	7870	133,5	1,5	0,7
EMPRESA 22	6000	0	0	9240	176,17	1,6	0,9
EMPRESA 23	4357	2800	1140	9755	185,8	1,3	0,9
EMPRESA 24	0	0	0	10706	130	2,2	0,6
EMPRESA 25	25000	0	0	10706	217	1,7	1,0
EMPRESA 26	0	0	0	5608	185,8	0,9	0,8
EMPRESA 27	30000	0	0	9202	185	1,6	0,7
EMPRESA 28	15166	0	0	9202	185	1,6	0,7
EMPRESA 29	16942	0	0	9202	185	1,6	0,7
EMPRESA 30	7000	0	0	10706	260	1,7	0,9
EMPRESA 31	6000	0	0	9621	220	1,6	0,7
EMPRESA 32	6000	3000	100	9621	220	1,6	0,7
EMPRESA 33	1200	0	0	10086	334,24	1,4	1,0
EMPRESA 34	3500	4000	2400	9770	275,5	1,5	0,8

Tabela 2 Parâmetros de operação do forno ^[1]

As siglas contidas no cabeçalho das tabelas podem ser descritas da seguinte forma.

Onde:

- L_0 – representa a altura do metal líquido, o aço, após o processo de fusão e refino e sem nenhum movimento, também chamado de Nível de Banho Estático [mm];
- L – representa a cavidade formada pelo impacto do jato de oxigênio sobre a superfície do banho. Essa medida varia constantemente durante o sopro devido à instabilidade da superfície líquida e a turbulência das reações [mm];

- D_o – Representa o diâmetro interno do forno que também será utilizado para determinar a relação de esbelteza dos convertedores estudados [mm];
- D – representa o diâmetro da cavidade aberta com o impacto do jato de oxigênio sobre a superfície do banho metálico [mm];
- H – Altura interna do refratário [mm];
- DBL - Distância da Lança de oxigênio ao banho líquido [mm].

Estas dimensões são demonstradas na Figura 5 abaixo.

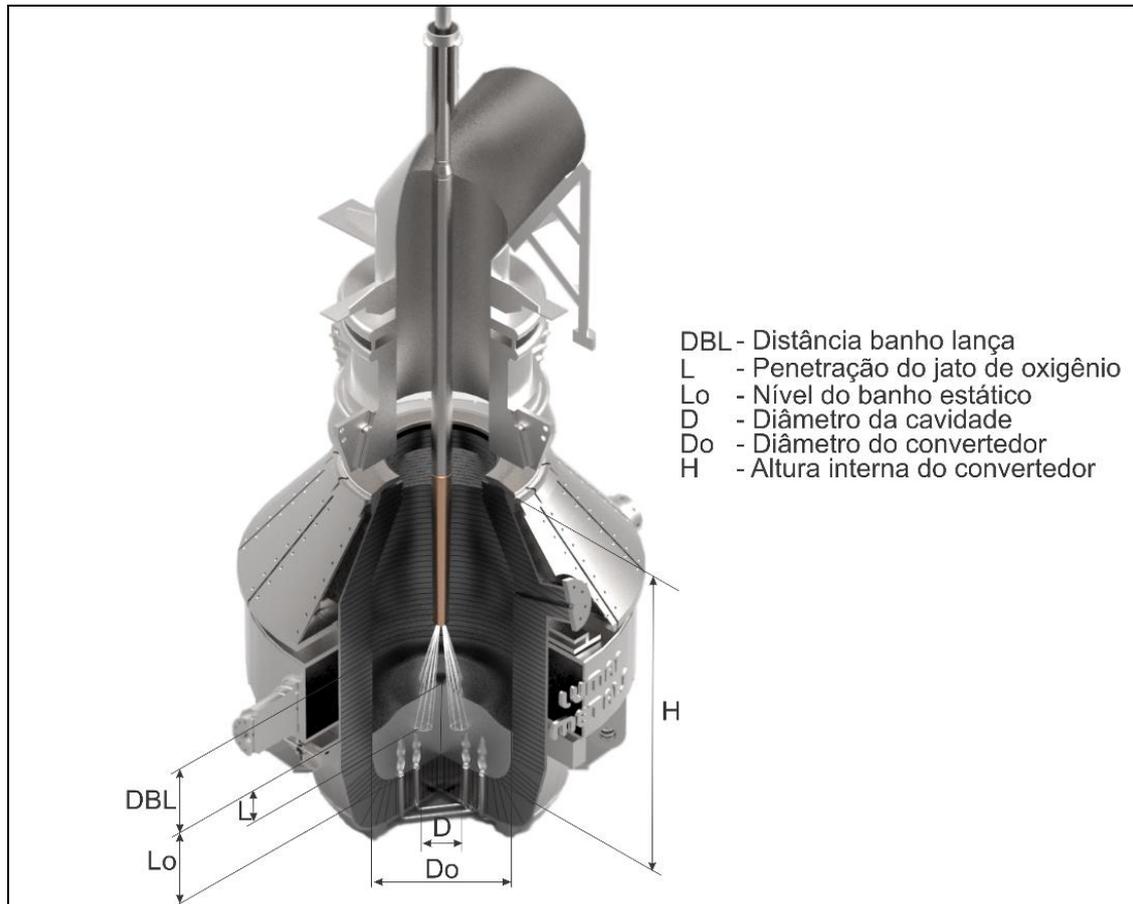


Figura 5 Representação esquemática D , D_o , L , L_o , DBL [1]

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após recebidos e tabulados nos meios informados no tópico anterior, os dados foram analisados e realizadas as correlações as quais serão apresentadas a seguir.

Para este estudo foram considerados somente os gráficos que possuíam índices de correlações e comportamentos superiores a 65%.

A Figura 6 apresenta as variações das capacidades dos convertedores das empresas onde foram coletados os dados.

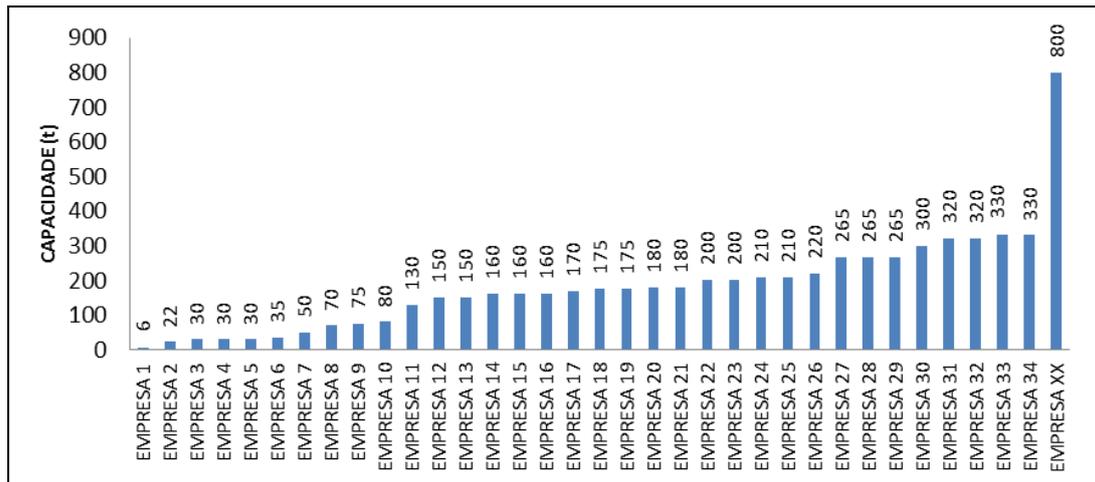


Figura 6 Variação de Convertedores

O gráfico apresenta também a proposta de extrapolação de dados realizada para um convertedor não existente na indústria. O convertedor de 800 toneladas é representado pela empresa XX e foi o objeto extrapolado a partir das informações reais obtidas.

O eixo das abcissas representa as empresas e o eixo das ordenadas representa a capacidade em toneladas dos convertedores. O aumento dos convertedores está diretamente relacionado à necessidade das empresas siderúrgicas de atender a cada época a necessidade de se produzir aço. A proposta de extrapolação para 800 toneladas segue a tendência atual de concentrar a produção com intuito de otimizar as operações e reduzir equipes para desempenhar funções de apoio, concentrando-se na produção em escala e aço do mercado mundial.

A partir das informações obtidas com a Figura 6, através do método de extrapolação de dados, pôde ser proposta as dimensões básicas de um convertedor de 800 toneladas, conforme Figura 7.

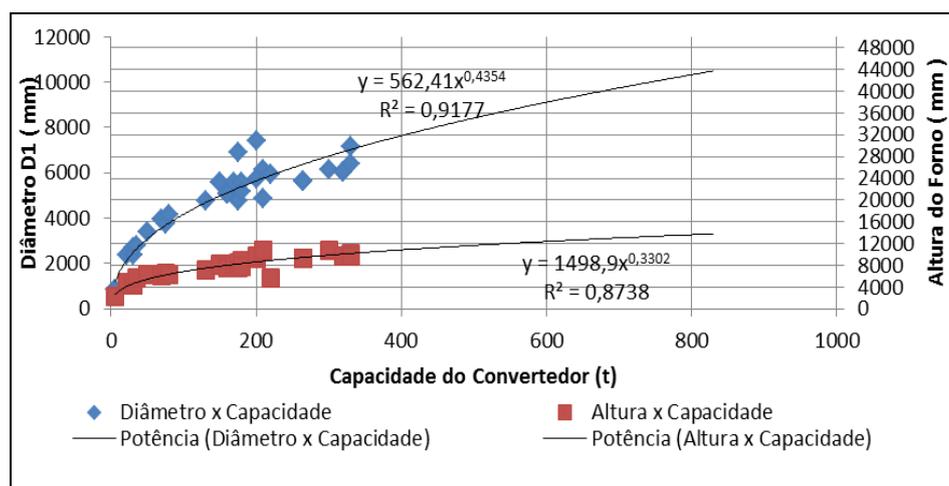


Figura 7 Extrapolação dos Convertedores

Depois de realizada a regressão, os dados foram extrapolados através das equações de potência e então encontrados os resultados de altura interna e

diâmetro interno do forno. A Figura 8 representa o dimensional aproximado necessário para se obter um forno de 800 toneladas.

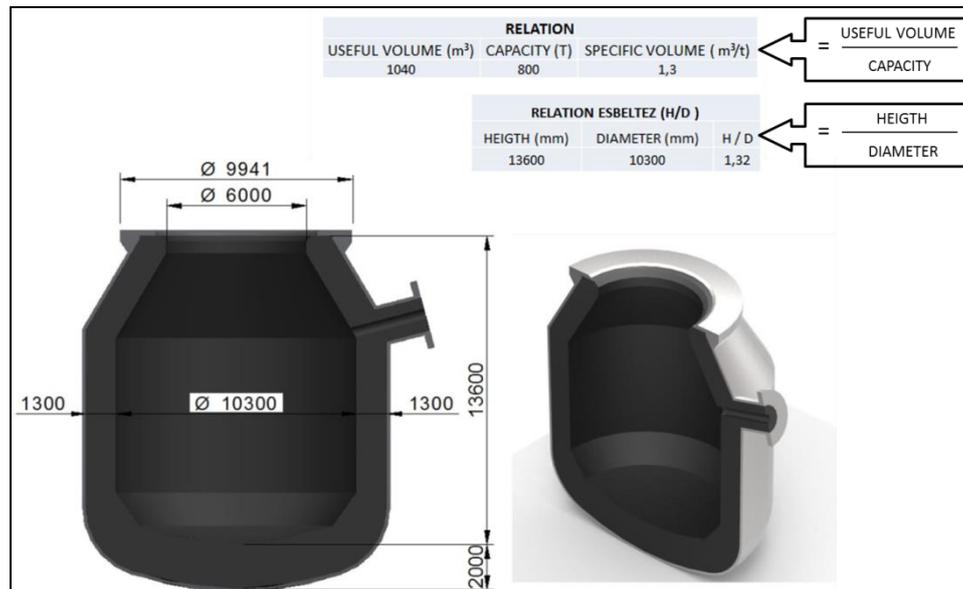


Figura 8 Convertedor de 800 toneladas extrapolado [1]

Realizando-se a análise dimensional de todos os convertidores estudados de uma única vez, pode ser verificada na Figura 9 a variação dimensional dos convertidores quando sobrepostos. As linhas representam os contornos internos, volume útil, dos convertidores. Entende-se como volume útil, todo volume interno do convertidor que pode ser ocupado pela emulsão.

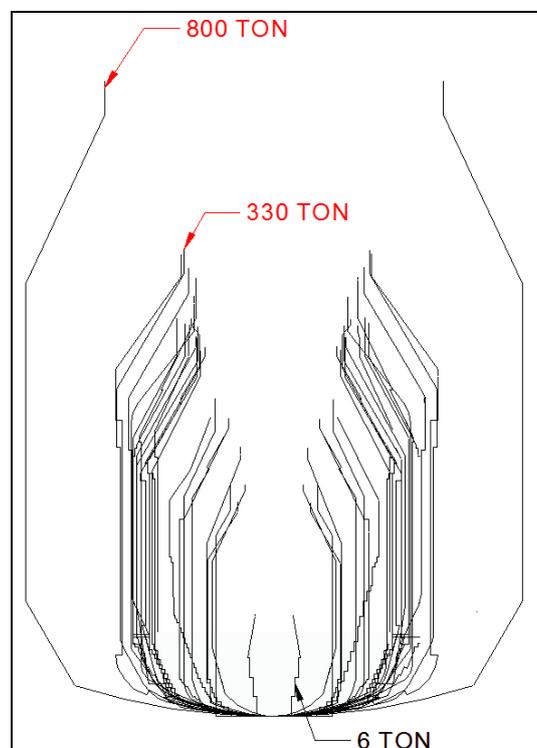


Figura 9 Convertidores sobrepostos [1]

Continuando, na Figura 10, são apresentadas as correlações entre a capacidade dos convertedores x diâmetro (Do) x altura (L1).

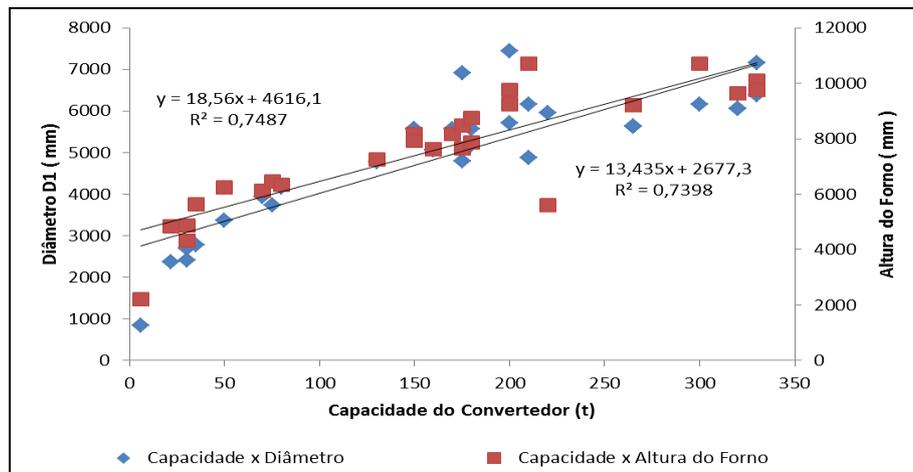


Figura 10 Capacidade x Diâmetro x Altura

A Figura 10 apresenta a boa correlação entre os diâmetros dos convertedores com suas respectivas capacidades e suas alturas. Pode ser percebido que os fornos seguem uma linearidade quanto ao seu dimensional. Em fornos com capacidade menor têm-se as alturas (H) e diâmetro (Do) menores, e assim sucessivamente.

Pode ser observado também que convertedores com capacidade em torno de 200 toneladas apresentam comportamento que foge à linearidade da regressão. Um dos fatos que contribui para esse comportamento é o maior volume de reatores nessa região, e, com isso, concepções diferentes dos grandes fabricantes mundiais de usinas Green Field, tais como: SIEMENS VAI, SMS DEMAG, NIPPON STEEL, DANIELLI, etc. [1].

Em seguida, a Figura 11 apresenta o aumento dos níveis de banho estático gradativo na medida em que também é aumentado o dimensional (Altura H e Diâmetro Do) dos convertedores. Esses parâmetros estão ligados à variação de carga ou mesmo aumento da carga enforçada com objetivo de aumentar a produtividade. Essas ações afetam o índice de volume específico.

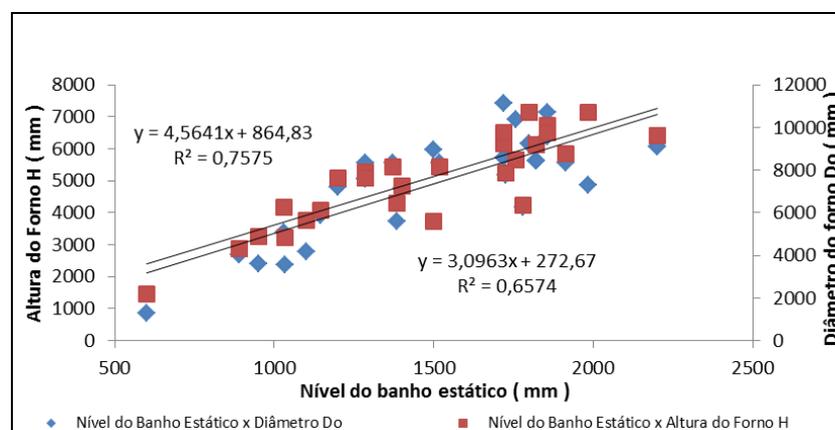


Figura 11 Nível do Banho Estático x Diâmetro (Do) x Altura (H)

Acrescentando o volume específico nas análises, pode ser percebido na Figura 12, que grande parte dos convertedores estão trabalhando com o volume específico abaixo de 1 m³/t. Trabalhar com o volume específico com valores acima de 1 é recomendado, pois evitam-se perdas como projeções de metal-escória para fora do convertedor durante a corrida.

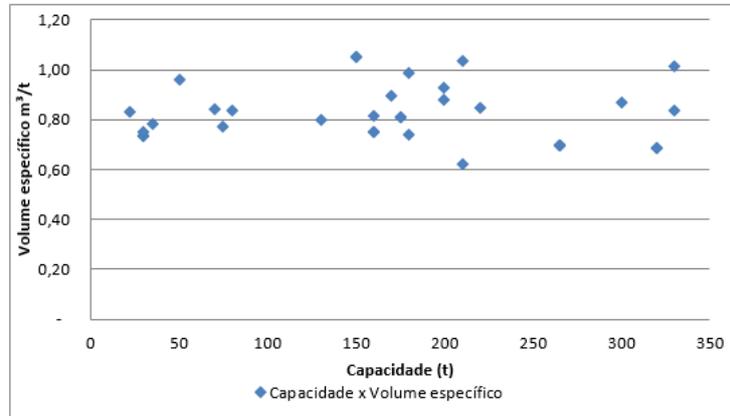


Figura 12 Capacidade x Volume específico

4 CONCLUSÃO

1. A análise e correlação de parâmetros revelam que a variação dimensional dos convertedores está diretamente atrelada às necessidades distintas de cada usina siderúrgica na produção do aço.
2. O convertedor de 800 toneladas extrapolado possui um bom dimensionamento, porém sua fabricação seria improvável devida suas dimensões e devido cenário atual.
3. Converteedores de maior capacidade tendem a ter o nível do banho estático elevado, enquanto os convertedores de menor capacidade possuem o nível do banho estático mais raso. Porém esta regra pode ser alterada quando são variadas as formas dos convertedores.
4. Aproximadamente 88% dos Converteedores estudados tendem a sofrer projeções de metal-escória para fora do forno, pois trabalham com volume específico abaixo da idealidade de 1 m³/t, enquanto apenas 22% dos fornos estudados trabalham com volume específico acima de 1 m³/t, fornos estes considerados superdimensionados.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Lumar Metals pelo incentivo a pesquisa e desenvolvimento e ao Centro Universitário do Leste de Minas Gerais (Unileste MG) em especial a brilhante equipe de professores pelo ensino compartilhado que nos capacitou para desenvolver trabalhos notórios.

REFERÊNCIAS

- 1 NASCIMENTO, Romário da Rocha; LIMA, Willian dos Reis. Configurações dos convertedores a oxigênio e parâmetros de operação. 2016.108 P. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - Centro Universitário do Leste de Minas Gerais (Unileste MG), Coronel Fabriciano, 2016.
- 2 MALYNOWSKYJ, Antônio. Fabricação de aço líquido em conversor a oxigênio. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA, MATERIAIS E MINERAÇÃO. Introdução à siderurgia. São Paulo: ABM, 2011, p.125-167.
- 3 MAIA, Breno Totti; MARTINS, Antônio Augusto. Lança de Oxigênio. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA, MATERIAIS E MINERAÇÃO. Aciaria a oxigênio. Rio de Janeiro: ABM, 2014.
- 4 RIZZO, Ernandes Marcos da Silveira. Introdução aos processos de refino primário dos aços nos convertedores a oxigênio. São Paulo: ABM, 2006, p.3-114.
- 5 MAIA, Breno Totti; IMAGAWA, Rafael Kajimoto; TAVARES, Roberto Parreiras. Cold model bath behavior study in BOF converter with bottom blowing. In: SEMINÁRIO DE ACIARIA - INTERNACIONAL ABM WEEK, 46., 2015, Rio de Janeiro, 2015. Anais... Rio de Janeiro: ABM, 2015.
- 6 MAIA, Breno Totti. Efeito da configuração do bico da lança na interação jato-banho metálico em convertedor LD. 2007. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- 7 AUAD, Marcos Venturoli. Refratário para convertedor LD. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA, MATERIAIS E MINERAÇÃO. Aciaria a oxigênio. Rio de Janeiro: ABM, 2014.
- 8 BARÃO, Celso Dias. Introdução ao refino de aço em aciaria a oxigênio. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA, MATERIAIS E MINERAÇÃO. Aciaria a oxigênio. Rio de Janeiro: ABM, 2014.
- 9 BARKER, K. J., et al. Oxygen steelmaking furnace mechanical description and maintenance considerations. In: The AISE Steel Foundation. Steel making and refining volume. Pittsburgh: AISE, 1998. p.431-474.