

AUMENTO DO TEMPO MÁXIMO DE LINGOTAMENTO ATRAVÉS DA OTIMIZAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DAS VÁLVULAS SUBMERSAS ¹

Ideraldo Luiz Bastos da Cruz²
Fernando Antônio M. Moraes³
Evander Caires Damasceno⁴
Antônio Eustáquio. Vidigal³
Cleber Perdigão Martins⁵
Lucas Vieira Penna⁵
Nilson Rodrigues⁶

Resumo

A performance dos refratários empregados em uma máquina de lingotamento contínuo é fundamental para a produtividade obtida, sendo as válvulas submersas indispensáveis ao lingotamento com Jato protegido, como é o caso da Belgo Arcelor Brasil, usina de Monlevade. O desgaste das válvulas afeta o tempo máximo possível de lingotamento. Conhecer a taxa de desgaste e projetar com segurança os limites de sua utilização é fundamental para otimizar o processo com ganhos da qualidade, produtividade e custo. Este trabalho apresenta a melhoria contínua da performance das válvulas submersas, com otimização dos tempos de lingotamento, através de análises de desgastes, utilizando além do conhecimento técnico da equipe, ferramentas estatísticas adequadas e o método PDCA, combinação perfeita para se obter resultados sem as perdas naturais sujeitas ao se desenvolver processos de forma não científica, isto é, via tentativa e erro. Após análise das taxas de desgaste das válvulas submersas, foi possível definir novos tempos de lingotamento, com melhoria sobre os tempos anteriormente praticados.

Palavras-chaves: Melhoria contínua; Válvula submersa; PDCA; Modelo estatístico.

INCREASE OF MAXIMUM CASTING TIME THROUGH OPTIMIZATION OF USE OF A SUBMERGED ENTRY NOZZLE

Abstract

The performance of refractory used at continuous casting machine is fundamental for output productivity. In the case of Submerged Entry Nozzle (SEN) process, like process used at Belgo Arcelor Brazil, Monlevade Steel Plant, the nozzle wear rate affects directly the maximum casting time. Establish a statistical model to describe the nozzle wear rate, would help significantly to estimate new limits for the SEN life. It is fundamental to optimize the process of Continuous Casting Machine and consequently improve the quality, productivity and cost. This paper shows the continuous improvement of SEN performance, maximizing casting time by statistical analysis of nozzle wear, using beyond the technical knowledge of casting, adequate statistical tools and PDCA method, the perfect combination to obtain results faster and without the natural losses when we don't use a scientific approach. After analyses of SEN wear rate, it was possible define accurate casting time, improving the actual casting time.

Key words: Continuous improvement; Submerged entry nozzle; PDCA method; Statistical model.

¹ Contribuição técnica ao XXXVIII Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2007, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Administrador, Técnico Assistente – Aciaria – Usina de Monlevade.

³ Técnico Metalurgista – Aciaria – Usina de Monlevade

⁴ Estatístico, M. Sc. – Instituto de Desenvolvimento Gerencial – (INDG)

⁵ Técnico Mecânico – Vesuvius do Brasil

⁶ Engenheiro Metalurgista, M. Sc – Aciaria - Usina de Monlevade.

1 INTRODUÇÃO

A produção de aços via lingotamento contínuo, há muito se tornou a tecnologia principal de solidificação de aços, que além de possibilitar a fabricação de produtos para as mais diversas aplicações, é imbatível em relação ao custo, produtividade, repetibilidade de condições de processo que garantem a qualidade esperada de forma segura e suficientemente adequada, satisfazendo as necessidades dos clientes cada vez mais exigentes.

Em relação à exposição do aço líquido à atmosfera, durante a sua transferência no processo de lingotamento contínuo, tem-se o processo de lingotamento com jato aberto e o processo de lingotamento com jato protegido, sendo este último, aquele com o qual se obtém o completo isolamento do aço impedindo sua contaminação com o oxigênio atmosférico, o que leva à produção de aços mais limpos e mais adequados às aplicações especiais.

A Belgo – Arcelor Brasil, usina de João Monlevade, buscando a permanente atualização e melhoria de performance de seus produtos, o faz através da atualização tecnológica de seus processos tanto em nível de processos produtivos quanto em nível gerencial. A busca da evolução permanente de performance da unidade fundamenta-se na utilização de métodos adequados, sendo o PDCA amplamente difundido e utilizado em todos os processos na empresa.

A Figura 1, uma adaptação do conceito apresentado por Aguiar⁽¹⁾ e Falconi⁽²⁾, mostra a evolução contínua, como uma possibilidade através do método PDCA.

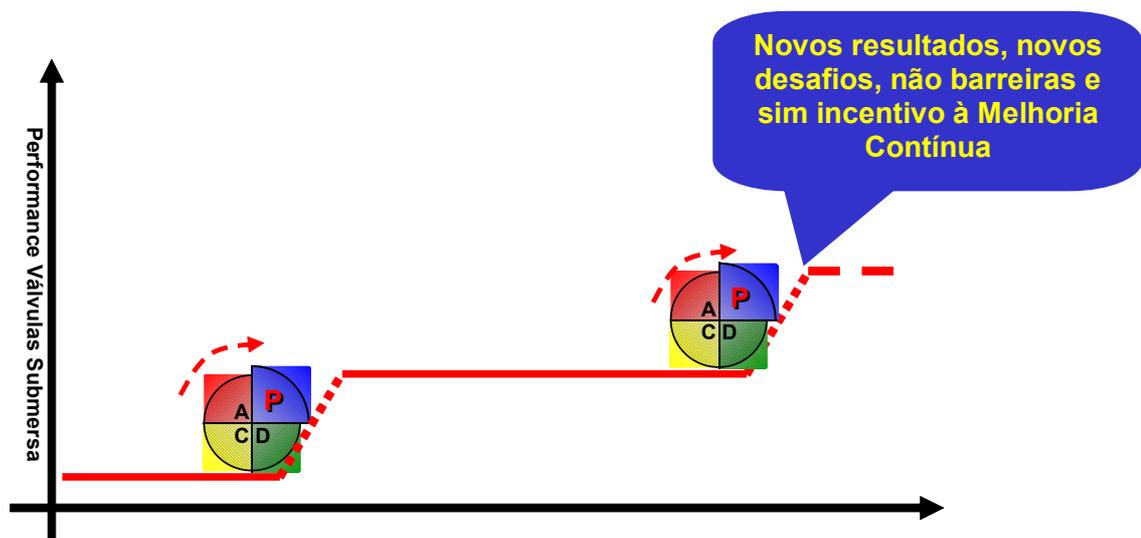


Figura 1: Diagrama de melhoria contínua, com uso da Metodologia PDCA. Adaptado de Aguiar⁽¹⁾ e Falconi.⁽²⁾

Sabe-se que muitas são as variáveis que podem levar a uma maior taxa de desgaste das válvulas, como: tipo de aço, desoxidação, tipo de pó fluxante, agitação eletromagnética, velocidade de lingotamento e ainda a qualidade refratária das válvulas, não sendo, no entanto, o foco do trabalho, tratar destas questões.

Este trabalho, focado no conceito de evolução contínua, trata da evolução da utilização das válvulas submersas, questionando os resultados obtidos e suas reais possibilidades, que em uma primeira análise dos dados históricos, poderia representar o limite de sua utilização com necessidade de alteração de projeto, mas questionado permanentemente através de análise técnica, racional e estatística após utilização, mostrou-se capaz de fornecer performance ainda melhor, com

resultados seguros, contribuindo de forma significativa para alcance dos objetivos da empresa. A Figura 2 a seguir exemplifica um conjunto de válvulas submersas após utilização.



Figura 2: Válvulas submersas após o uso

2 OBJETIVO DO PROJETO

Avaliar o comportamento do desgaste das válvulas submersas buscando adequar as práticas operacionais à obtenção do máximo tempo de lingotamento possível no processo atual, sem alteração ou investimento em novos materiais refratários.

3 HISTÓRICO

Analisando os dados históricos (Figura 3), verifica-se que o crescimento do tempo de lingotamento vinha ocorrendo de forma progressiva até estagnar-se nos anos 2004 e 2005. Esta estagnação estava relacionada à performance das válvulas.

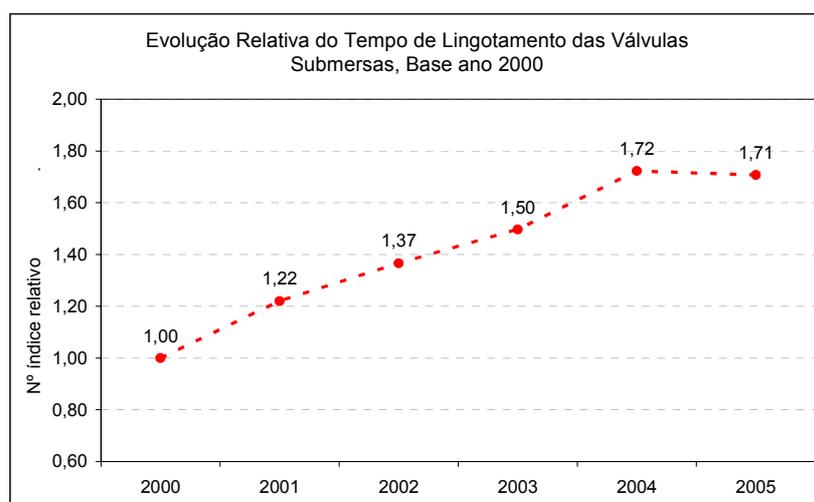


Figura 3: Evolução relativa do tempo de lingotamento.

4 METODOLOGIA

Para análise do comportamento de desgaste foi necessária a medição do mesmo em função do tempo, para todas as válvulas após o lingotamento, Figura 4.



Figura 4: Válvula submersa e região de desgaste.

Para análise estatística dos dados, foi utilizado o software *MINITAB (Release 14.2), estudando os dados via análise de distribuições de probabilidade da taxa de desgaste das Válvulas submersas.

Para uma primeira análise, todos os dados foram tratados conjuntamente, buscando identificar a normalidade dos mesmos.

Como inicialmente os dados não apresentaram uma distribuição Normal,⁽³⁾ uma análise a ser verificada é se entre eles haveriam grupos de dados com comportamentos específicos ou se eventuais variações eram conseqüências de anormalidades de processo. Para tal, foi realizado o agrupamento e tratamento dos diferentes tipos de aço, como populações estatisticamente independentes, objetivando a partir de tal, identificar qual a melhor distribuição estatística explicaria o comportamento de desgaste de cada grupo.

O agrupamento dos aços foi feito em função de suas similaridades, como velocidade de lingotamento, composição química, tipo de pó fluxante e temperatura de lingotamento. O agrupamento gerou 5 grupos independentes, Tabela 1.

Tabela 1: Identificação dos cinco Grupos de Aço

Agrupamento	Grupo de Aço
1	A
2	B
3	C
4	D
5	E

*Software comercial para cálculos estatísticos.

Uma vez definidos os diferentes grupos de aço, passou-se para a identificação da distribuição estatística que melhor explicaria o comportamento de desgaste.

Para considerar que uma distribuição estatística se adequa bem aos dados, foi considerado que ela deva ter um *P-valor⁽⁴⁾ mínimo de 0,10. Portanto quando se compara várias distribuições para uma mesma população; por exemplo, um grupo de aço qualquer, a distribuição que apresentar maior significância (maior P-valor), será a que melhor se ajustará a tal população. Esta será, portanto, a distribuição que aqui se utilizará, para estimar a taxa de desgaste das válvulas da respectiva população, grupo de aço.

A partir da identificação da distribuição de probabilidade mais adequada para cada grupo de aço, pode-se através da função inversa da distribuição acumulada, identificar qual a taxa máxima de desgaste a ser utilizado em mm/min, para o desgaste esperado.

É importante mencionar que o valor ótimo considerado da taxa máxima de desgaste será aquele com probabilidade mínima de ocorrência de 95% para o tipo mais adequado de distribuição, isto é, aquela distribuição com maior P-Valor entre as analisadas.

A definição de se utilizar a taxa máxima de desgaste identificada é no sentido de se obter a maior segurança operacional, sem exposição das válvulas aos riscos de desgaste excessivo e seus problemas advindos.

Com a taxa de desgaste conhecida e o desgaste em mm possível na espessura da parede das válvulas, obtém-se o tempo de lingotamento com segurança suficiente para se evitar furo da mesma. A equação abaixo representa a forma de cálculo do tempo de lingotamento, em função da espessura máxima a ser desgastada e taxa de desgaste.

$$Tl = \frac{ed}{Txd} \quad (1)$$

Tl = Tempo de lingotamento em min;

ed = Espessura de desgaste esperada em mm;

Txd = Taxa de desgaste em mm/min.

5 RESULTADOS

Ao se fazer análises iniciais dos dados, considerando todas as válvulas provenientes de uma mesma população, verificamos que não apresentava uma distribuição próxima da normal, P-valor < 0, 005, Figura 5.

A não normalidade dos dados reforçou a necessidade de tratamento específico para os diferentes grupos de aço como descrito anteriormente.

* P-valor: É a probabilidade de se cometer um erro, dito tipo I. No caso de um teste de normalidade, pode-se dizer que é a probabilidade de se rejeitar a hipótese de que os dados seguem uma distribuição Normal, dado que esta hipótese é verdadeira. Normalmente a análise desta probabilidade é feita com base em um valor de referência, por exemplo, 5% (valor de referência). Quando o P-valor é maior que 0,10, conclui-se que os dados seguem uma distribuição próxima da normal.

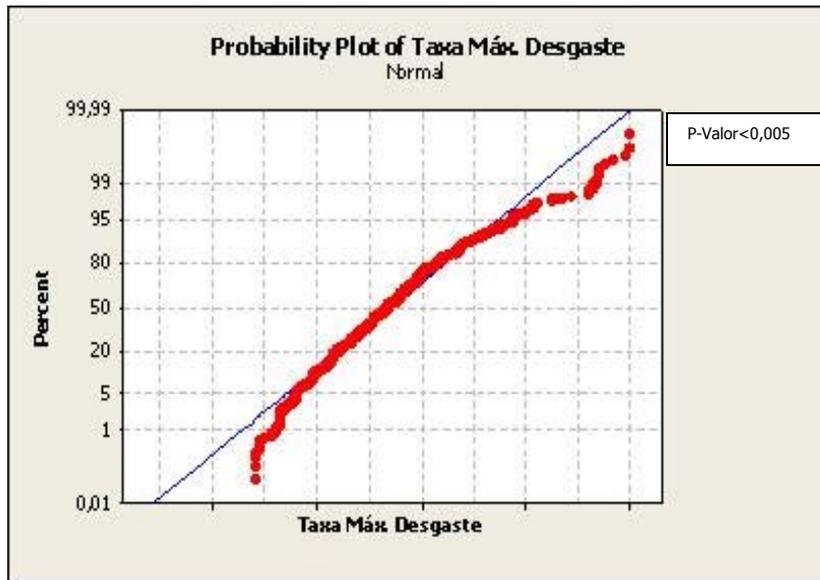


Figura 5: Saída do MINITAB-V14, com a análise de normalidade dos dados.

A Figura acima mostra a não normalidade dos dados, com P-Valor < 0,005. Tratando os dados específicos por grupos de aço, foram obtidas as melhores distribuições probabilísticas para os mesmos. Os gráficos das Figuras 6.1 a 6.5 a seguir, apresentam as análises das diferentes distribuições.

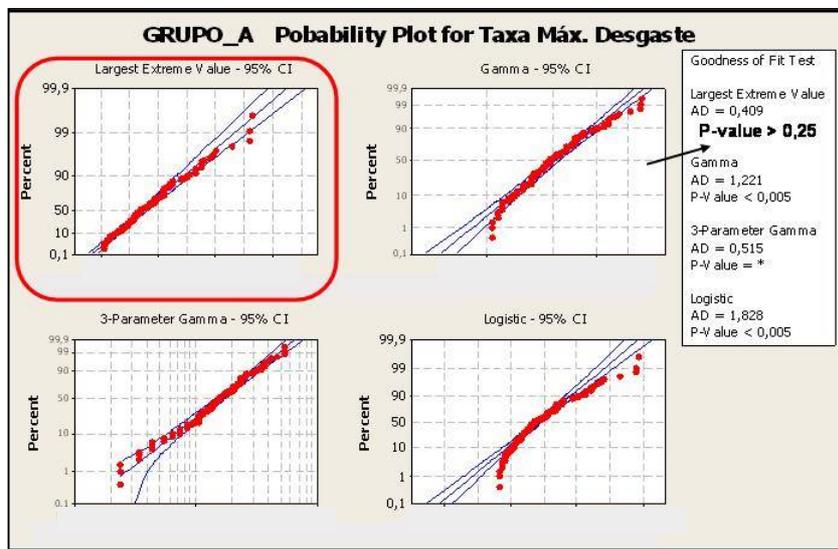


Figura 6.1: Análise de distribuição para o grupo A

A distribuição que melhor se ajustou aos dados do GRUPO A, foi a distribuição *Largest Extreme Value* com P-valor > 0,25.

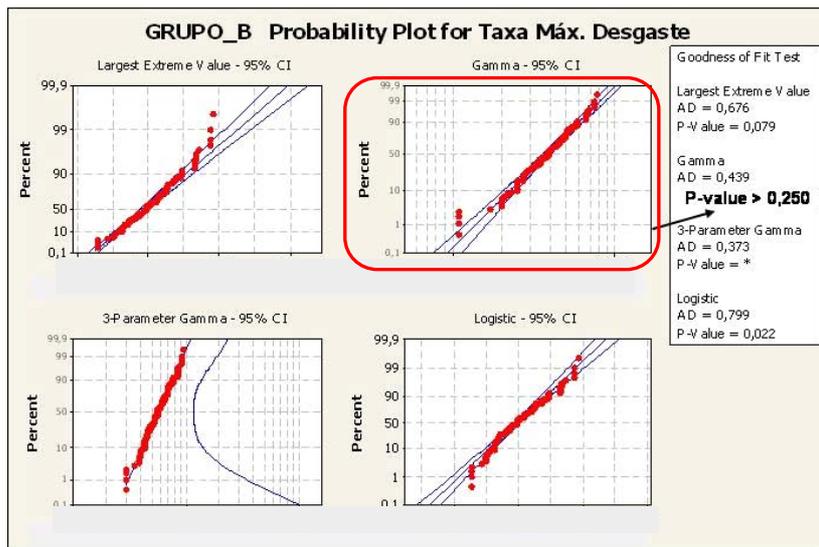


Figura 6.2: Análise de significância por distribuição, grupo de aço "B".

A distribuição que melhor se ajustou aos dados do GRUPO B, foi a distribuição Gamma, com P-valor > 0,25.

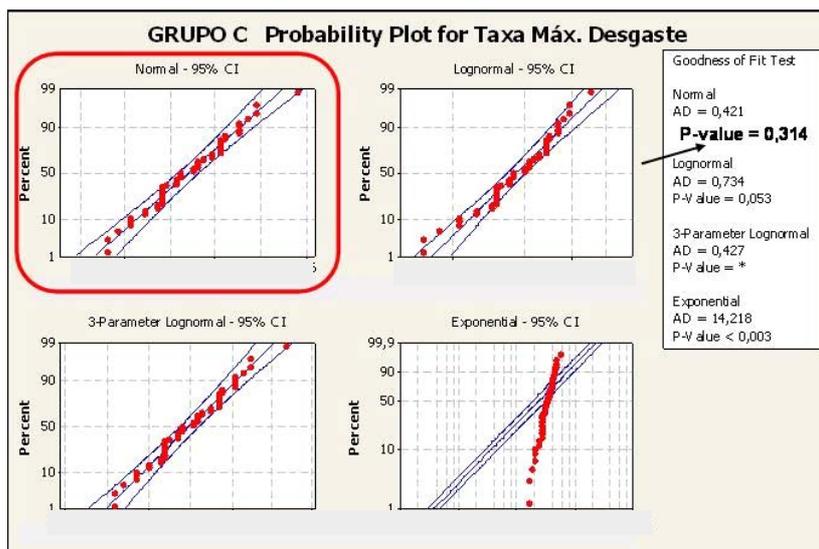


Figura 6.3: Análise de significância por distribuição, grupo de aço "C".

A distribuição que melhor se ajustou aos dados do GRUPO C, foi a distribuição Normal, com P-valor de 0,314.

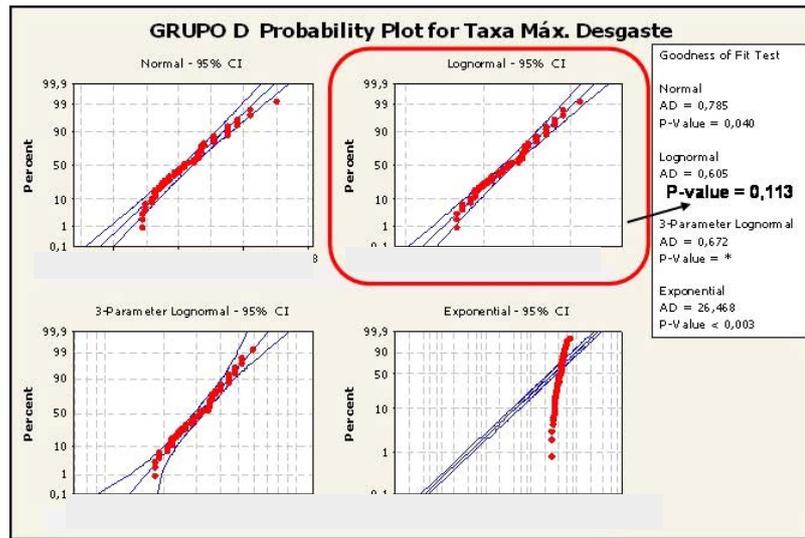


Figura 6.4: Análise de significância por distribuição, grupo de aço “D”.

A distribuição que melhor se ajustou aos dados do GRUPO D, foi a distribuição Lognormal, com P-valor de 0,113.

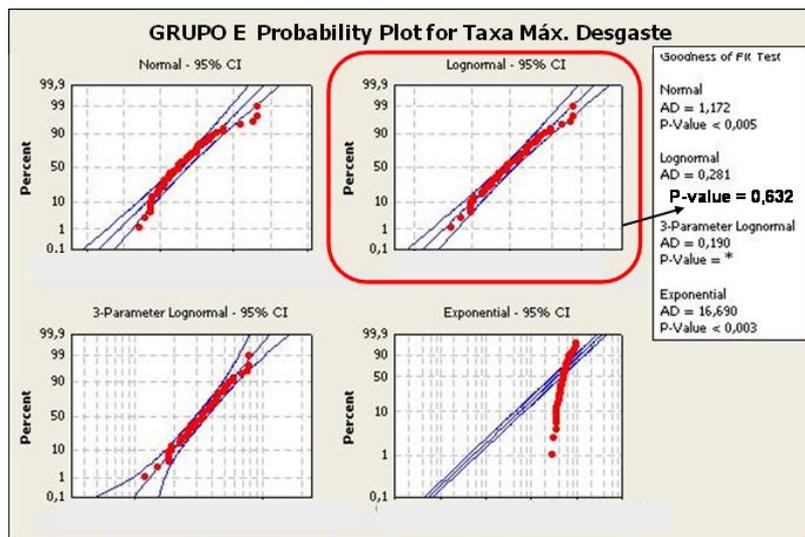


Figura 6.5: Análise de significância por distribuição, grupo de aço “E”.

A distribuição que melhor se ajustou aos do GRUPO E, foi a distribuição Lognormal, com P-valor de 0,632.

A Tabela 2 apresenta informações gerais dos resultados relativos do tempo de lingotamento estimado, distribuição estatística por grupo de aço e a probabilidade de referência, assegurada pela distribuição considerada.

A coluna “relação do tempo estimado com o praticado (%)”, foi obtido da seguinte forma:

Com a identificação do modelo estatístico de distribuição mais adequado, foi possível prever estatisticamente a taxa de desgaste estimada. Diante da taxa de desgaste estimada, pode-se através da equação 1, obter-se o tempo de lingotamento estimado para cada modelo, uma vez que também se conhece o desgaste máximo esperado da parede da válvula. Fazendo-se uma comparação dos tempos, obteve-se o percentual relativo, que é a relação entre o tempo estimado e o praticado, apresentado na tabela.

Tabela 2: Resultados dos cálculos estatísticos e tempos de lingotamento estimado, em percentual relativo ao praticado.

GRUPO DE AÇO	DISTRIBUIÇÃO DE PROBAB.	PROBABILIDADE DE REFERÊNCIA (%)	RELAÇÃO DO TEMPO ESTIMADO COM O PRATICADO (%)
A	Larg. Extr. Value	95	+ 50%
B	Gamma	95	+ 38%
C	Normal	99	+ 53%
D	Lognormal	95	+ 50%
E	Lognormal	95	- 3%

Diante dos tempos de lingotamento estimados para cada grupo de aço com segurança probabilística de no mínimo 95% estarem maiores que os tempos praticados, foi proposta uma elevação experimental nos tempos de lingotamento da ordem de 10%. Esta elevação, apesar de conservadora diante dos resultados de previsibilidade, foi considerada adequada como um teste, devido à necessidade de se evitar qualquer possibilidade de resultado indesejado, como o furo de válvula. Uma exceção no teste se deu para o grupo “E”, devido a estimativa inicial para o mesmo ser próxima ao valor praticado, com resultado 3% inferior.

A Figura 7 retrata os resultados com o teste para validação dos modelos estatísticos.

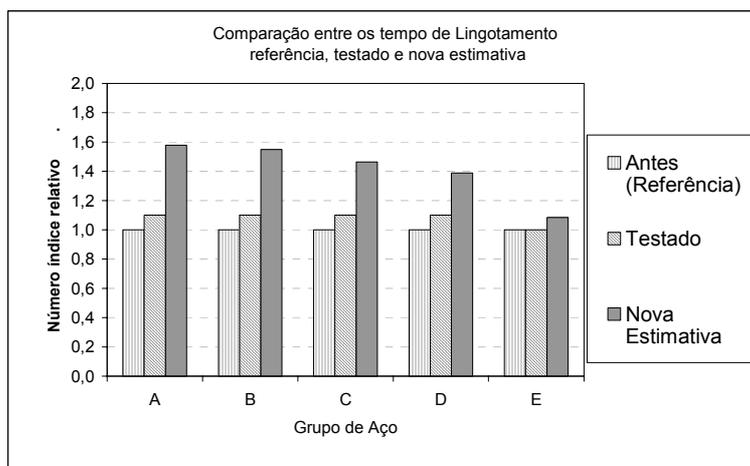


Figura 7: Tempo de lingotamento, teste e nova estimativa.

Com o teste executado, os resultados obtidos não geraram problemas operacionais com as válvulas e ainda um novo cálculo foi executado, confirmando os cálculos de previsibilidade anteriores, através da curva, “nova estimativa”, conforme visto na Figura 7.

Sendo obtidos modelos de previsibilidade estatística, específicos por cada grupo de aço, os resultados verificados foram avaliados como adequados. Desta forma, novos tempos de lingotamento puderam ser seguramente propostos. Estes novos tempos passaram por um processo de padronização, levando a revisão de procedimentos formais e treinamento de todos os envolvidos.

Concluindo as fases do projeto, já foi possível perceber em 2006, elevação nos resultados, alterando a estagnação dos anos de 2004/2005, em nova possibilidade de melhoria, como é possível verificar na Figura 8.

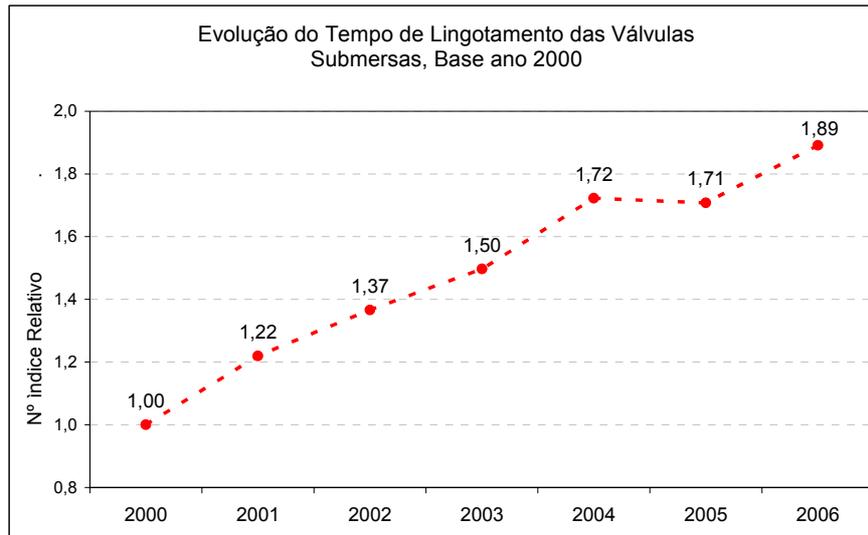


Figura 8: Evolução Relativa do tempo de lingotamento 2000 a 2006.

6 CONCLUSÃO

A análise estatística de dados de desgaste das válvulas por grupo de aço, como forma de se verificar as possibilidades dos limites da capacidade do tempo de lingotamento, se mostrou bastante eficaz, fornecendo-nos respaldo para novas projeções e limites operacionais.

A busca do limite do processo e a persistência para obtenção da melhoria contínua se confirmaram indispensáveis para a geração de novas marcas.

Os dados históricos inicialmente analisados poderiam indicar um processo descontrolado de desgaste das válvulas, por sua não normalidade, no entanto, o agrupamento dos tipos de aços por suas similaridades e a busca da distribuição de probabilidade que explicasse comportamentos específicos, foi a chave para se obter o sucesso dos resultados.

Não houve, durante a aplicação dos novos tempos de lingotamento, ocorrência de resultado não previsto, o que validou os cálculos de projeção, dando sustentação estatística para a padronização.

A combinação; conhecimento técnico, metodologia e ferramentas estatísticas, foi fundamental para o desenvolvimento do projeto, com resultados suficientemente robustos para novas marcas, não gerando efeitos colaterais indesejados.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Belgo – Arcelor Brasil, Usina de Monlevade, da Vesuvius do Brasil e do Instituto de Desenvolvimento Gerencial (INDG).

REFERÊNCIAS

- 1 AGUIAR, Silvio. Integração das ferramentas de qualidade ao PDCA e ao programa seis sigma. Belo Horizonte: DG, 2002.
- 2 CAMPOS, Vicente F. Gerenciamento pelas diretrizes. Belo Horizonte: DG, 1996.
- 3 STEVENSON, Willian J. Estatística Aplicada à Administração. São Paulo: Harbra, 2001.
- 4 DAMASCENO, Evander C; GARCIA, Fernanda O. Curso Prático de Minitab 14. Belo Horizonte: INDG, Abril 2004. Trabalho não publicado.