

Estudo Da Potencialidade De Redução Do Teor De Cromo Em Moinhos Do Tipo Rolo Sobre Pista Da Termoelétrica Jorge Lacerda

P. Ortega, UFSC; P. Bernardini, UFSC e L.A. Torres, TRACTEBEL

Resumo- O presente trabalho visa investigar a possibilidade de diminuir a relação custo/benefício dos rolos de moinhos de carvão mediante alterações da composição química e do tratamento térmico atualmente empregado. A variação basicamente consiste em diminuir a quantidade de cromo da liga. Segundo a norma ASTM A532 dos ferros fundidos brancos de alto cromo é passar da liga II D (18 a 23 % Cr) atualmente empregada na fabricação dos rolos para uma liga II B (14 a 18 % Cr). Isto baseado em estudos anteriores onde se constatou que mantendo o tipo de microestrutura das ligas de ferro fundido branco de alto cromo (da qual são fabricados os rolos), a resistência ao desgaste se correlaciona com a dureza do material, o que permite antever que é possível obter vida em serviço de uma liga II B similar à II D. Considerando que há 12 moinhos na usina Jorge Lacerda, com 3 rolos por moinho, cada rolo pesa em média 2 toneladas, com 30% de desgaste por ano, tem-se aproximadamente 21,6 toneladas por ano consumidas pelo desgaste. Para a atual liga II D (20 % Cr), resulta num consumo anual de 4,32 toneladas de Cromo. A substituição pela liga II B (15 % Cr), resultaria num consumo anual de 3,24 ton de Cromo. Os resultados parciais obtidos indicam que há possibilidade de redução de consumo anual de cromo em 1,08 ton ano.

Para isto se fundiram e otimizaram os tratamentos térmicos das ligas, posteriormente se fizeram ensaios de microdureza, dureza e resistência ao desgaste em laboratório. Por último os resultados foram comparados.

Palavras-chave—Desgaste, Ferro Fundido Branco Alto Cromo, Moinho Rolo sobre pista.

I. INTRODUÇÃO

O presente item apresenta uma síntese dos fundamentos teóricos que permeiam este trabalho. Atualmente a empresa utiliza nos rolos e pistas de moinhos de carvão a liga de ferro fundido branco de alto cromo tipo ASTM A532 - II D (comercialmente denominada de Cromax), cuja composição química é 2,9% de Carbono, 22% e Cromo e 2% de Molibdênio[1-3].

A figura 1 ilustra o posicionamento de tal liga na projeção líquidus do diagrama Fe-C-Cr (A marcação esta feita com um X na figura 1). Esta liga esta perto da linha

HK que é onde se encontram as ligas eutéticas. Outras ligas da mesma norma estão apresentadas também sobre a linha HK e todas elas são eutéticas o que garante a semelhança na sua microestrutura e reforça a hipótese que com menor teor de cromo se podem fabricar uma liga que gere uma resistência semelhante à II D atualmente empregada. Também se sabe que cada uma das ligas apresenta uma temperatura e tempo de tratamento térmico de endurecimento que maximiza a dureza (HV), conforme figura 2 [4,5].

Por outro lado, diferentes ligas apresentam diferentes durezas máximas (após tratamento térmico), conforme ilustrado na figura 3. Esta figura indica que o uso de uma liga com 15% Cr possibilita obtenção de maior dureza que a liga com 20% Cr atualmente utilizada pela empresa nos rolos e pistas de moagem. É justamente esta possibilidade de aumento da dureza junto com redução do teor de cromo (dos atuais 20% para 15%) que ensejaram o presente trabalho, onde se pretende avaliar a potencialidade de utilizar material de menor custo de fabricação, porém, com igual ou superior dureza e resistência ao desgaste [6].

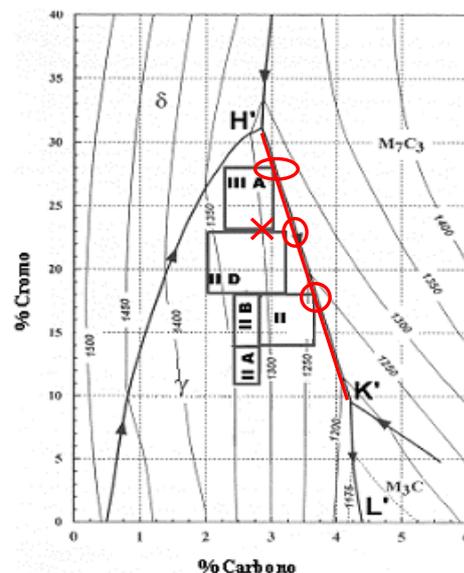
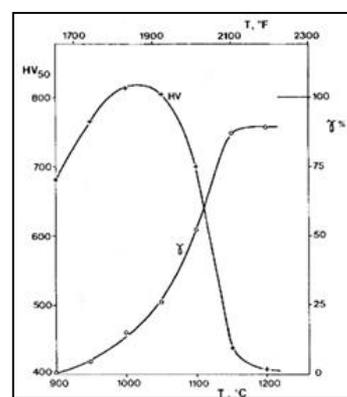


Figura 1
das ligas da



Posicionamento
ASTM A 532.

Agradecimentos a empresa Tractebel Energia pelo apoio nesta pesquisa. P. Ortega trabalha na Universidade Federal de Santa Catarina (e-mail: portega13@yahoo.com.br).

P.A.N. Bernardini trabalha na Universidade Federal de Santa Catarina (e-mail: pedro@materiais.ufsc.br).

L.A. Torres trabalha na Tractebel Energia (e-mail: ltorres@tractebelenergia.com.br)

Figura 1. Relação entre temperatura de tratamento, dureza e austenita retida.

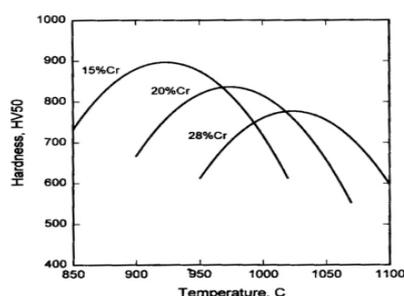


Figura 3. Influência da temperatura e do teor de cromo na dureza máxima.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Diante do objetivo de avaliar a resistência ao desgaste em laboratório das ligas II D e II B da norma ASTM A532 do ferro fundido branco de alto foi realizado o seguinte procedimento experimental[7-9].

A. Corpos de Prova

Foram fundidos os corpos de prova das ligas II B e II D em forno de indução e cortados por eletro-erosão e jato de água. A composição das ligas se encontra na Tabela I. Após a obtenção dos corpos de prova com 75 x 25 x 12,5 mm que são as medidas especificadas para o ensaio de desgaste se realizaram os tratamentos térmicos. Na Tabela I também se reportam a composição química de amostras retiradas dos rolos dos moinhos da termoelétrica em operação. Para a retirada das amostras se usou a técnica de trepanação e posteriormente eletroerosão para obter os corpos de prova de 50 x 20 x 12 mm.

TABELA I
COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS LIGAS II B E II D

Corpo Prova	%Elemento	C	Si	Mn	Mo	Ni	Cr	Cu
Rolo II D	Usada atualmente	2,81	0,91	0,72	1,85	0,41	23,28	0,09
Liga II D	Otimizada termicamente	2,98	0,71	0,75	1,90	0,35	21,22	0,06
Liga II B		3,24	1,01	1,37	2,58	1,18	16,33	0,89

B. Tratamentos Térmicos

Para a realização dos tratamentos térmicos foram usados os corpos de prova do item anterior. Para efetuar o estudo, foram preparados corpos de prova da liga II D com e sem recozimento prévio a 700°C por 6h. Para o estudo do tratamento térmico de desestabilização, trabalharam-se os corpos de prova com e sem recozimento, a temperaturas entre 950°C e 1100°C e tempos entre 0,5h e 5h. Finalmente foi realizado um tratamento de revenimento no material a 200°C por 1 hora. O resfriamento de todos os tratamentos foi realizado ao ar.

Para a liga II B inicialmente, se definiu que os estados iniciais que se trabalhariam seriam os estados bruto de fusão e recozido a 690°C por 6 horas. A escolha do tempo no estado recozido foi realizado por um estudo preliminar. Posteriormente as amostras foram desestabilizadas e revenidas nos mesmos ciclos térmicos de tempo e temperatura da liga II D.

C. Dureza e Microdureza

A dureza Rockwell C foi medida nos corpos de prova com e sem tratamento térmico antes da preparação metalográfica. Foram realizadas dez medições de dureza Rockwell C na superfície das amostras de acordo com a norma ABNT-NBR 6671-1981, em um durômetro de bancada. No ensaio foi usado uma pré-carga de 10 kgf e uma carga de 150 kgf. Para o ensaio de microdureza os corpos de prova foram preparados e atacados. O equipamento usado foi o microdurômetro Shimadzu HMV com uma carga de 100g (HV 0,1).

D. Ensaio de Desgaste

O ensaio de desgaste abrasivo ASTM G65-00 foi escolhido para testar estas ligas, já que é o ensaio que tem mais similaridade com o tipo de desgaste que sofrem os moinhos rolo sobre pista. Na série de ensaios, optou-se pelo procedimento A da norma, 6000 rotações e 130 N que é o procedimento para materiais de elevada dureza e alta resistência ao desgaste. O fluxo de areia foi de 370 g/min que é o valor que se encontra dentro o que a norma estabelece (300-400g/min).

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Depois de realizar os ensaios de desgaste das ligas II B, II D e do material usado atualmente nos moinhos se obtiveram resultados bastante interessantes que mostram o alto potencial da liga II B.

Para efeitos de comparação e para uma posterior compreensão da análise dos resultados de desgaste das ligas II D e II B, na figura 4 se apresenta as durezas dos diferentes tratamentos térmicos realizados nas duas ligas nos estados iniciais recozido e bruto de fusão.

Na figura 4 se observa que a liga II B apresenta valores de dureza mais altos tanto no estado inicial bruto de fusão como no recozido que os apresentados pela liga II D. As temperaturas nas quais se encontram os máximos de durezas da liga II B são mais baixas (900 e 950°C) que as temperaturas de tratamento da liga II D (1000 e 1050°C). Também

se observa que a liga II B apresenta em temperaturas mais altas

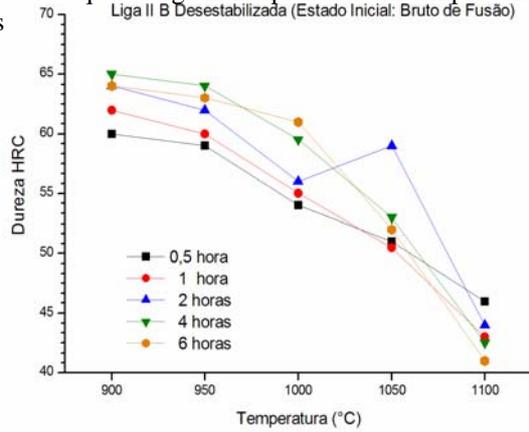
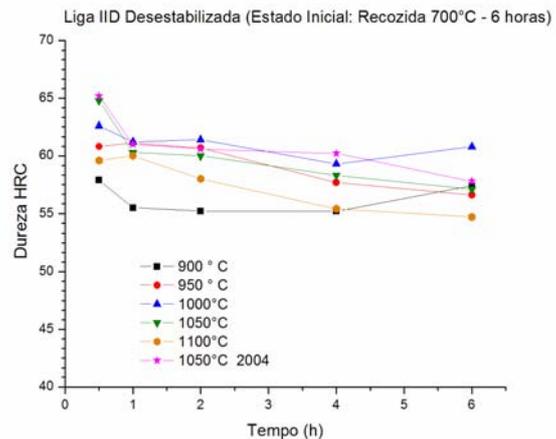
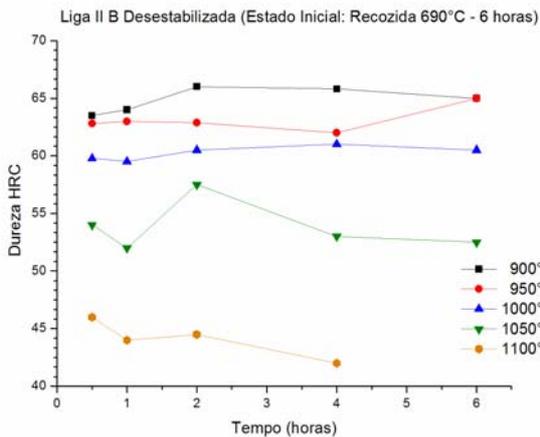
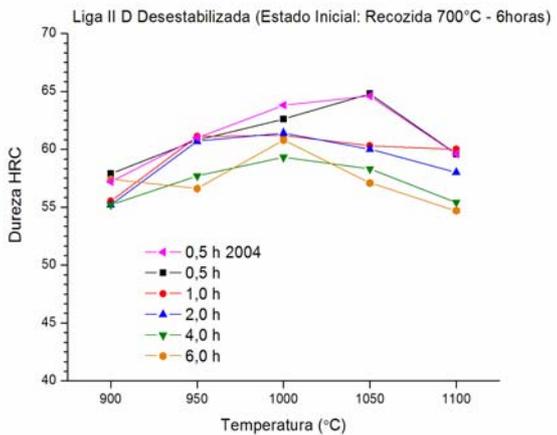
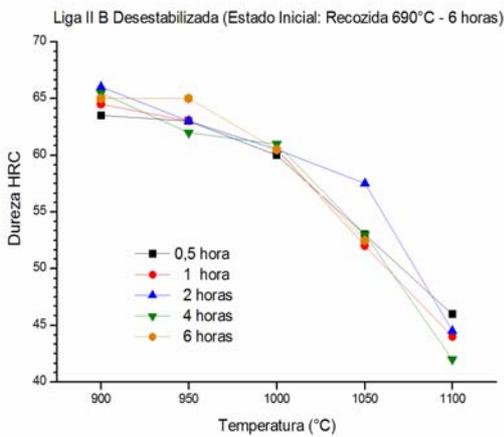
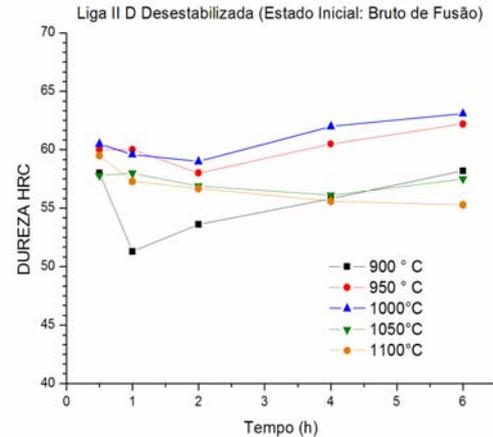
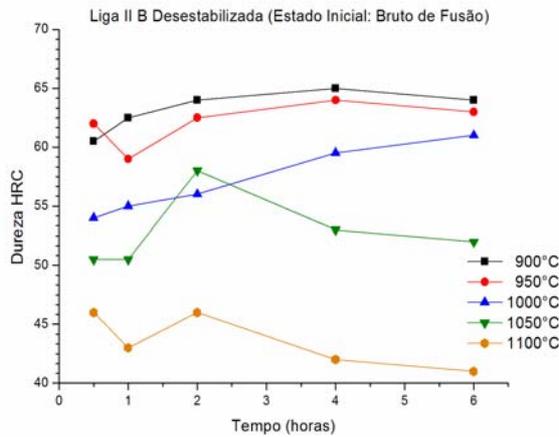
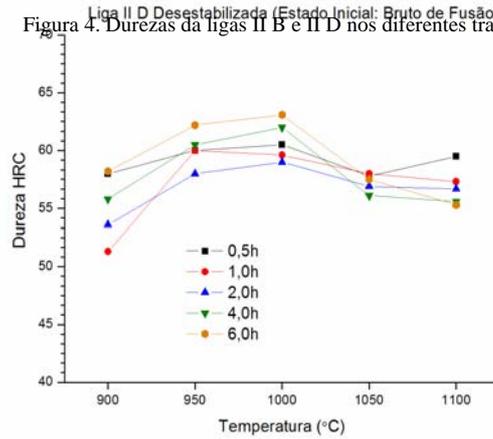


Figura 4. Durezas da ligas II B e II D nos diferentes tratamentos térmicos.



(1050 e 1100°C) durezas muito baixas devido possivelmente à dissolução dos carbonetos secundários na matriz.

Já os tempos de tratamento na liga II D é menor para as amostras com estado inicial recozido (0,5 hora) se comparadas com as amostras no mesmo estado da liga II B (2 horas). No estado inicial bruto de fusão a liga II D foi tratada por 6 horas e a liga II B precisa de um tempo menor 4 horas.

Para entender com mais precisão as diferenças entre as duas ligas na figura 5 se apresentam as durezas e as microdurezas da matriz em cada um dos melhores tratamentos termicos das ligas nos estados iniciais recozido e brutos de fusão.

Para a liga II D os corpos de prova que apresentaram os melhores resultados de dureza foram: estado inicial bruto de fusão e desestabilização a 1000°C por 6 horas e estado inicial recozido a 700°C por 6 horas e desestabilização a 1050°C durante 0,5 horas. Na liga II B os valores otimizados de dureza apresentaram-se em: estado inicial bruto de fusão e desestabilização a 900°C por 4 horas e estado inicial recozido a 690°C por 6 horas e desestabilização a 900°C durante 2 horas.

Nas figura 5 e 6 se observa que o aumento da dureza nas ligas pode ser produzido pelo aumento da microdureza. Também a figura mostra como as microdurezas da liga II B tratada tem valores muito mais altos que às da liga II D o que pode aumentar consideravelmente a resistência ao desgaste. A diferença na microdureza das matrizes pode chegar a 30%, causada talvez pela presença de uma maior quantidade de carbonetos secundários e de martensita na matriz.

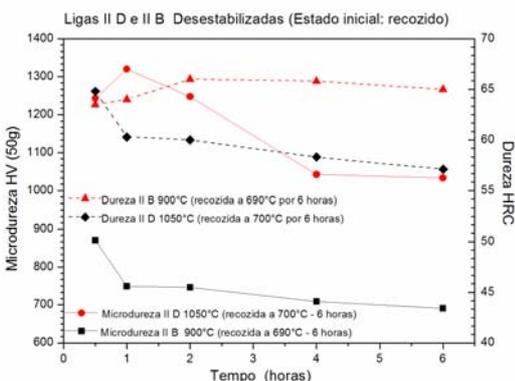
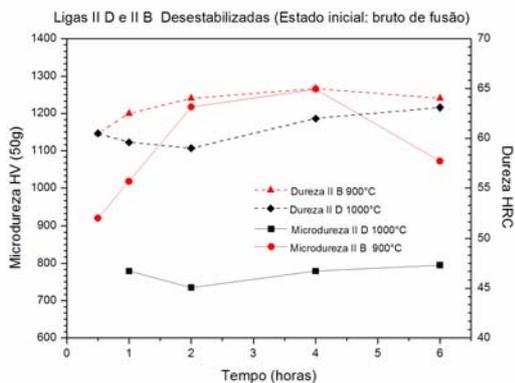


Figura 5. Durezas e microdurezas das ligas II B e II D em diferentes tempos de tratamento.

Por ultimo, apesar da diferença nas durezas entre a liga II D e II B não ser tão marcante quanto a diferença na microdureza, a liga II B apresentou melhores resultados nesta propriedade também.

Depois dos bons resultados de dureza e microdureza da liga II B obtidos se comparados com os dados da liga II D, se realizaram os ensaios de desgaste.

A Tabela II apresenta a perda de massa e de volume dos corpos de prova das ligas II B e II D.

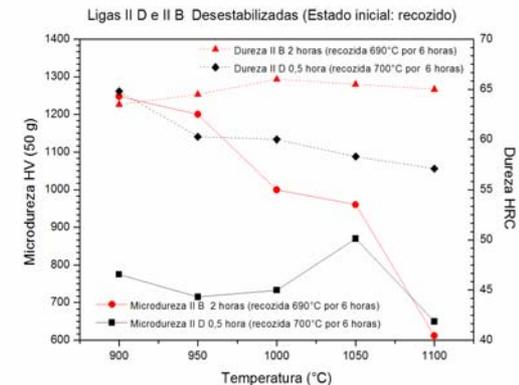
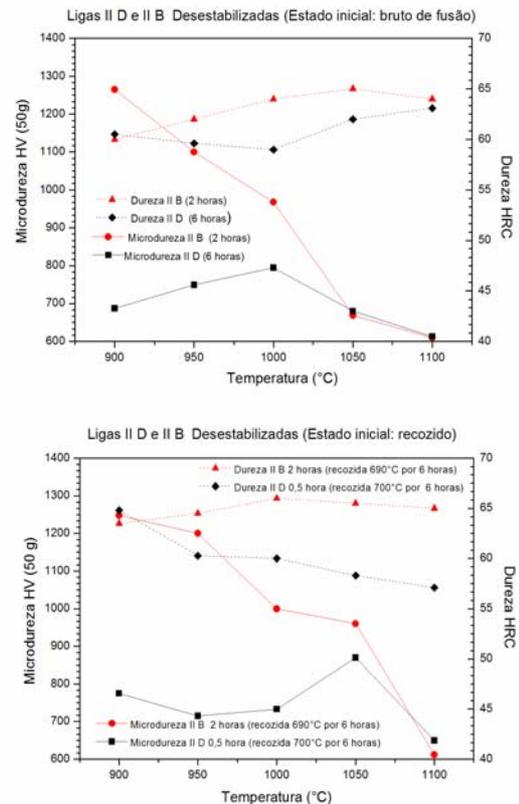


Figura 6. Durezas e microdurezas das ligas II B e II D em diferentes temperaturas de tratamento.

Os resultados mostram que a liga II B apresenta uma melhor resistência ao desgaste que a liga usada atualmente na fabricação dos rolos e que a liga II D com otimização do tratamento térmico estudada no projeto anterior.

Outro aspecto importante é que a relação de proporcionalidade entre a dureza e desgaste na liga II B existe como na liga II D (resultado do projeto anterior), já que as amostras com maior dureza apresentam melhor resistência ao desgaste.

Também se pode observar que os melhores resultados são obtidos nas ligas desestabilizadas e recozidas se comparadas com as ligas tratadas a partir do estado bruto de fusão. Existe só uma exceção e é a liga II B bruta de fusão desestabilizada por 4 horas a 900°C, que apresenta perdas de massa e volume menores que às da liga II B recozida. Isto pode ser causado porque esta amostra apresenta uma microdureza da matriz um pouco maior (II B bruta de fusão desestabilizada a 900°C por 4 horas 1265 HV, II B recozida e desestabili-

zada a 900°C por 2 horas 1249 HV). É interessante registrar que esta pequena diferença não se manifesta na dureza das ligas que são de 65 e 66 HRC, sendo um pouco maior a dureza da amostra recozida.

A figura 7 apresenta os resultados de perda de volume dos ensaios de desgaste na ligas estudadas e mencionadas anteriormente.

TABELA II
DESGASTE SEGUNDO NORMA ASTM G65-00.

MATERIAIS	AMOSTRA	DESGASTE (g)	DESGASTE (mm ³)
II D	Padrão (usada atualmente)	0,253	32,39
II D (BF) ¹	Desestabilização 1000°C e 6h	0,240	30,71
II D (Rec) ²	Desestabilização 1050°C e 0,5h	0,212	27,19
II B (BF) ¹	Desestabilização 900°C e 1h	0,227	29,40
II B (BF) ¹	Desestabilização 900°C e 4h	0,169	21,71
II B (BF) ¹	Desestabilização 900°C e 6h	0,249	31,91
II B (Rec) ³	Desestabilização 900°C e 0,5h	0,189	24,19
II B (Rec) ³	Desestabilização 900°C e 2h	0,185	23,52
II B (Rec) ³	Desestabilização 900°C e 6h	0,211	27,03

- 1) Estado inicial bruto de fusão
- 2) Estado inicial recozido a 700°C por 6 horas
- 3) Estado inicial recozido a 690°C por 6 horas

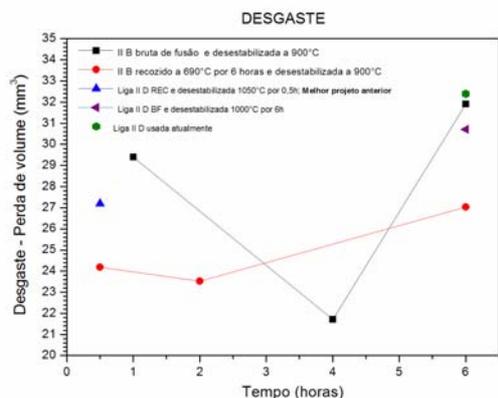


Figura 7. Evolução da resistência ao desgaste da liga II B.

Na figura 7 se observa que o melhor desempenho ao desgaste é o de uma liga II B bruta de fusão sendo que as possíveis razões deste resultado já se explicaram anteriormente.

Para efeitos práticos, já que o processo de fabricação dos rolos tem obrigatoriamente uma etapa de recozimento para a realização da usinagem do material, as amostras que apresentam maior desempenho (resistência ao desgaste) são as recozidas a 690°C durante 6 horas e posteriormente desestabilizadas a 900°C por 2 horas. Este resultado comprova

a relação dureza, microdureza e resistência ao desgaste dos ferros fundidos brancos de alto cromo.

A redução do desgaste da liga II B recozida a 690°C durante 6 horas e desestabilizada a 900°C por 2 horas é de 13% se comparada com o melhor resultado da liga II D otimizada (amostra recozida 700°C por 6 horas e desestabilizada a 1050°C por 0,5 horas). Por outro lado, a redução é de 28% se comparada com os resultados de desgaste da liga usada atualmente em campo (II D, com tratamento térmico não otimizado pelo fabricante).

Outra informação importante é que praticamente todos os resultados de desgaste da liga II B são menores se comparados com o material atualmente usado na usina.

Os resultados obtidos também convergem com os relatados por vários pesquisadores na literatura do ferro fundido branco de alto cromo. Quando menor a quantidade de cromo (liga II B 16%, liga II D 22%) maior a dureza (II B: 66 HRC, II D: 64,5 HRC) e menor temperatura de desestabilização necessária para obter a máxima dureza da liga (II B: 900°C, II D: 1050°C).

Se deve levar em consideração que o aumento de carbono de 2,9% da liga II D para 3,3% na liga II B pode gerar uma diminuição na tenacidade. Tal aspecto vem sendo objeto de estudo pela equipe e será publicado posteriormente.

IV. CONCLUSÕES

Diante do objetivo de comparar a resistência ao desgaste das ligas II B e II D da norma ASTM A532 dos ferros fundidos brancos, os resultados permitem concluir que:

A maior resistência ao desgaste da liga II D é obtida quando do emprego de recozimento (700°C por 6 h) seguido de desestabilização a 1050°C por 0,5 hora de patamar.

O melhor desempenho da liga II B é obtido quando se usaram amostras recozidas (690°C por 6 h) e desestabilizadas a 900°C por 2 horas de patamar.

O emprego de recozimento antes da desestabilização resulta em maiores valores de dureza máxima e de resistência ao desgaste do que em liga desestabilizada a partir do estado bruto de fusão.

A maior dureza (e maior resistência ao desgaste) resultante do emprego inicial de recozimento tem relação com a maior microdureza da matriz (pois a fração volumétrica de carbonetos eutéticos não se altera com os tratamentos) e esta maior microdureza tem relação com a maior quantidade de carbonetos por unidade de área precipitados na matriz (após desestabilização).

Este estudo sugere que para a o ferro fundido branco de alto cromo classe II B, pode proporcionar melhor resistência ao desgaste que a liga II D atualmente usada na termoeletrica. Este resultado gera duas perspectivas interessantes. A primeira a possibilidade da fabricação de rolos com menor quantidade de cromo que diminuiria o custo de fabricação. A segunda sugere um aumento na resistência ao desgaste o que aumentaria o tempo de serviço que também pode produzir uma redução de custos.

V. AGRADECIMENTOS

Os autores manifestam seus agradecimentos à TRACTEBEL ENERGIA S.A. por oportunizar a execução e divulgação do presente trabalho.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. Laird, R. Gundlach, and K. Rohrig, "Abrasion - Resistant Cast Iron Handbook," Ed: AFS, 2000, pp. 1-215.
- [2] J. ASensio, J. A. Pero-Sanz, and J. I. Verdeja, "Microstructure Selection Criteria for Cast Irons with more than 10 wt. % Chromium for Wear Applications," *Materials Characterization*, vol. 49, pp. 83-93, 2003.
- [3] C. G. Schön, and A. Sinatora, "Simulation of solidification Paths in High Chromium White Cast Irons For Wear Applications," *Calphad*, vol. 22, No. 4, pp. 437-448, 1998.
- [4] J. A. Sanz-Pero, D. Plaza, J. I. Verdaja, and J. Asensio, "Metallographic Characterization of Hypoeutectic Martensitic White Cast Irons: Fe-C-Cr System," *Elsevier Science Inc*, pp. 33-39, 1999.
- [5] C. P. Trabett, and I. R. Sare, "Effect of High Temperature and Sub Ambient Treatments on the Matrix Structure and Abrasion Resistance of a High Chromium White Iron," *Scripta Materialia*, vol. 38, pp. 1747-1753, 1998.
- [6] P. Ortega, "Otimização do tratamento térmico dos ferros fundidos brancos de alto cromo," Dissertação de Mestrado, Dept. Materiais. Eng., UFSC, Florianópolis, 2005.
- [7] K. H. Zum Gahr, "Abrasive Wear of White Cast Irons," *Wear*, vol. 64, pp. 175-194, 1980.
- [8] J. Fulcher, T. H. Kosel, and N. F. Fiore, "The Effect of Carbide Volume Fraction on the Low Stress Abrasion Resistance of High Cr-Mo White Cast Irons," *Wear*, vol. 84, pp. 313-325, 1983.
- [9] *ASTM Standard Specification American Society Testing Materials*, ASTM A 532 93a-2000 for Abrasion Resistant Cast Irons, 2000.