

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO DESGASTE DE UM AÇO HARDOX® 450 SUBMETIDO A SOLDA DE REVESTIMENTO DURO*

Daniel Bicalho Viegas¹

Maria Celeste Monteiro de Souza Costa²

Ezequiel de Souza Costa Júnior³

Resumo

Chapa de desgaste revestida com metal duro tem ampla aplicação na indústria, principalmente no segmento de mineração. Usualmente, o revestimento é aplicado em chapas de aço de baixo carbono. Estes aços são os mais comuns devido à sua boa soldabilidade. Paralelamente ao emprego das chapas revestidas, foi desenvolvido um aço de baixo carbono e de elevada dureza (350 a 600HB), com a finalidade de se tornar uma boa opção como chapa de desgaste. Em função da escassez de informações técnicas quanto à aplicação de revestimento em chapas de alta dureza, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência do ciclo térmico de soldagem sobre as propriedades mecânicas do aço Hardox® 450. A metodologia experimental consistiu no revestimento do aço Hardox® 450, com dureza da ordem de 450HB. Para o revestimento foi utilizado o processo de soldagem FCAW. Após a soldagem, foi feita análise do perfil de dureza na seção transversal dos corpos de prova. Para avaliação da resistência ao desgaste, foi feito o ensaio de abrasão conforme recomendações da norma ASTM G65-04. De acordo com os resultados obtidos foi possível confirmar que a aplicação do revestimento duro influencia diretamente nas propriedades mecânicas do material.

Palavras-chave: Desgaste; Soldagem; Revestimento duro; FCAW.

WEAR RESISTANCE EVALUATION OF A HARDOX® 450 STEEL SUBMITTED TO A HARDFACING WELDING

Abstract

Hardfacing wear plates have wide application in industry, mainly in the mining segment. Usually, the hardfacing is applied in low-carbon steel plates. These steels are the most common due to their good weldability. Parallel to the use of hardfacing wear plates, a low carbon and high hardness (350 to 600HB) steel was developed, in order to become a good choice as wear plate. Due to the shortage of technical information regarding the application of hardfacing in high hardness steel plates, this paper aims to evaluate the influence of the thermal welding cycle on the mechanical properties of Hardox® 450 steel. The experimental methodology consisted of hardfacing Hardox® 450 steel plate, with hardness about 450HB. FCAW was the welding process used for hardfacing. After welding, a hardness profile analysis was performed in the cross section of the specimens. To evaluate the wear resistance, an abrasion test according to ASTM G65-04 recommendations was performed. According to the results, it was possible to confirm that the hardfacing application directly influences the mechanical properties of the material.

Keywords: Wear; Welding; Hardfacing; FCAW.

¹ Engenheiro Mecânico, mestrando, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Engenheira Mecânica, D^a. Sc., Engenharia Metalúrgica, Professora do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

³ Engenheiro Industrial Mecânico, D. Sc., Engenharia Metalúrgica e de Minas, Professor do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O desgaste de componentes mecânicos é um fator de grande relevância para a indústria de forma geral. O custo de manutenção de equipamentos e de reposição de componentes é muito elevado e soluções técnicas que promovam aumento da vida útil dos equipamentos e dos componentes sempre estão em pauta.

Chapas de desgaste foram desenvolvidas para proteção de estruturas e do costado de equipamentos, tais como correias transportadoras, peneiras vibratórias, silos, calhas de transferência, chutes de descarga e dutos, dentre outros.

Chapas de desgaste revestidas por soldagem com metal duro, à base de carbonetos de cromo em matriz austenítica, tem ampla aplicação na indústria mecânica, principalmente no segmento de mineração. Usualmente, as chapas empregadas como metal base para a aplicação do revestimento duro são fabricadas em aços de baixo carbono, sendo os principais o SAE 1020 e o ASTM A36. Estes aços são os aços mais comuns em função da sua boa soldabilidade.

Um dos processos de soldagem utilizado para a fabricação de chapas de desgaste com revestimento duro é o FCAW (*Flux Cored Arc Welding*) em chapas de aço ASTM A36. Após a soldagem, a dureza superficial da camada revestida é da ordem de 60HRC.

Paralelamente ao emprego de chapas revestidas por soldagem de revestimento duro, as usinas de aço desenvolveram um aço laminado de baixo carbono e de elevada dureza, da ordem de 350 a 600HB, com a finalidade de se tornarem uma boa opção para emprego como chapas de desgaste.

Assim, os aços de elevada dureza também têm ampla aplicação na fabricação de chapas de desgaste para a indústria de mineração. Para a condução deste trabalho, foi escolhido o aço Hardox[®] 450, fabricado pela SSAB. Este aço é fabricado por laminação à quente e submetido a tratamento térmico de têmpera ainda na usina siderúrgica e apresenta dureza nominal na ordem de 450HB.

Segundo Adamiak, Górka e Kik [1], os ensaios de dureza realizados em chapa de Hardox[®] 400 apresentaram estrutura martensítica. Também, de acordo com Ulewicz, Mazur e Bokůvka [2], as análises executadas em chapas de aço Hardox[®] 400 e Hardox[®] 450 apresentaram estrutura martensítica acicular grosseira.

De acordo com SSAB [3], o aço Hardox[®] apresenta combinação consistente entre alta dureza, elevada resistência mecânica e excelente resistência ao impacto. A elevada dureza e resistência ao desgaste das chapas de aço Hardox[®] aumentam a vida útil dos produtos. Devido à sua alta resistência mecânica, os produtos fabricados com Hardox[®] podem ter construções mais simples, sem a necessidade de reforços e nervuras e também serem mais leves, mantendo alta capacidade de suportar cargas. Além disto, chapas de aço Hardox[®] apresentam boa resistência ao impacto mesmo em baixas temperaturas.

A composição química especificada do aço Hardox[®] 450 é definida pelo fabricante em termos de composição máxima de cada elemento e é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química especificada do aço Hardox[®] 450

Elemento Químico	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
% em peso	0,26	0,70	1,60	0,025	0,010	1,40	1,5	0,60	0,005

Fonte: SSAB.

O aço Hardox[®] 450 apresenta carbono equivalente de 0,52% e não requer pré-aquecimento para soldagem. A temperatura recomendada de interpasse é de 225°C.

Tratamento térmico pós-soldagem não é recomendado, pois poderá alterar de forma indesejada as propriedades mecânicas do material, através da alteração da sua microestrutura.

Em diversos trabalhos [4-7] onde o efeito da soldagem na estrutura metalúrgica e na dureza de aços Hardox® 400, 450 e 500 foi avaliado, identificou-se que o processo de soldagem promove alteração da estrutura martensítica inicial, transformando-a em martensita revenida, e conseqüente queda do valor da dureza na zona termicamente afetada.

Nas aplicações industriais mais comuns, a soldagem destes aços de elevada dureza, como o Hardox® 450, é amplamente utilizada como sistema de fixação e união de componentes, e não com o intuito de se formar camadas de revestimento duro.

A utilização de chapas de desgaste fabricadas em aço de elevada dureza, com o emprego adicional de uma camada de revestimento duro, aplicada por soldagem, pode ser uma alternativa na busca de melhor desempenho e aumento de sua vida útil.

Em função da escassez de informações técnicas quanto à aplicação de revestimento duro em chapas de alta dureza, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência do ciclo térmico de soldagem sobre as propriedades mecânicas do aço Hardox® 450. A metodologia experimental empregada consistiu no revestimento de chapas de aço Hardox®, com dureza da ordem de 450HB, utilizando-se arame tubular DIN 8555 / MF-10-GF-60-GR, pelo processo de soldagem com arame tubular (FCAW).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

3.1.1 Metal Base

Para confecção dos corpos de prova o metal base utilizado foi o Hardox® 450. Foram adquiridas duas chapas na espessura de 12,7mm, com medidas 75x400mm, ambas provenientes de um mesmo lote de fabricação. Para identificação, as chapas foram marcadas como chapa A e chapa B.

3.1.2 Metal de Adição

O metal de adição utilizado para a soldagem foi o arame tubular de Ø1,6mm, que atende à classificação AWS DIN 8555/MF-10-GF-60-GR. Por tratar-se de um arame tubular autoprotetido, nenhum gás de proteção foi empregado durante o processo de soldagem das chapas.

3.2 Soldagem

Para a soldagem das chapas foi utilizada uma fonte de soldagem da marca Eutectic, modelo Arc Weld 400S.

Foram empregados dois níveis de aporte térmico na soldagem das chapas de teste A e B. Os valores destes aportes térmicos foram calculados através da Equação 1. Os parâmetros de soldagem utilizados para cada chapa de teste estão apresentados na Tabela 2.

$$Q = k \frac{(V \times I)}{v} \quad (1)$$

Onde k é o rendimento do processo de soldagem, considerado neste trabalho como 0,8.

Tabela 2. Soldagem da chapa de teste A e B

Parâmetro	Chapa A	Chapa B
Corrente de Soldagem (I)	180A	248A
Tipo de Corrente	CC+	CC+
Tensão de Soldagem (V)	26V	26V
Velocidade de Soldagem (v)	$3,33 \times 10^{-3} \text{m/s}$	$3,33 \times 10^{-3} \text{m/s}$
Distância de contato bico peça	10mm	10mm
Aporte térmico calculado (Q)	1,12kJ/mm	1,56kJ/mm

Fonte: Próprio autor

3.3 Ensaio de Microdureza

Para realização do ensaio da microdureza Vickers, o equipamento utilizado foi o Micro Hardness Tester HMV-2, da marca Shimadzu.

Os ensaios de microdureza no metal base sem aplicação do revestimento duro foram realizados utilizando-se uma carga de 1kg e tempo de aplicação da carga de 15seg. As impressões foram espaçadas de 0,4mm ao longo de toda a seção transversal do corpo de prova (espessura da chapa) para determinação do perfil de dureza.

Os ensaios de microdureza do metal base com a aplicação do revestimento duro por solda foram realizados utilizando-se uma carga de 500g, já que as impressões obtidas com a carga de 1kg ficaram grandes e deformadas, dificultando a medição de suas diagonais, e o tempo de aplicação da carga foi de 15seg. As impressões foram espaçadas de 0,2mm ao longo de toda a seção transversal do corpo de prova (espessura da chapa) para determinação do perfil de dureza. Não foram realizadas medições de microdureza na solda de revestimento duro. A Figura 1 apresenta o ponto de início das impressões.

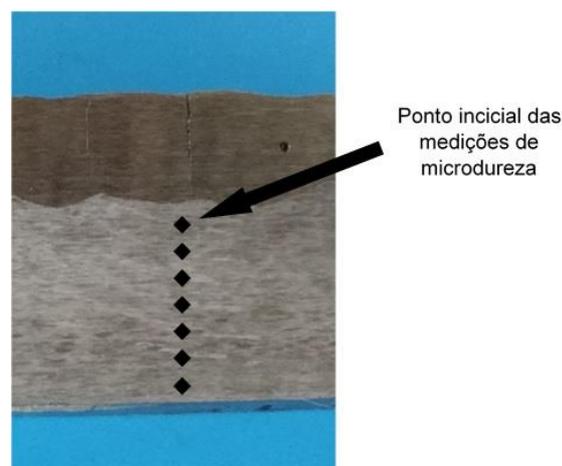


Figura 1. Representação das impressões de microdureza Vickers.

3.4 Ensaio de Abrasão

O ensaio de abrasão foi feito utilizando-se um equipamento de ensaio de abrasão por roda de borracha, com uso de areia seca. O ensaio foi realizado conforme estabelecido na ASTM G65-04, seguindo o procedimento B.

Para a realização dos testes foi empregada uma carga de 130N, e um comprimento linear de abrasão de 1436m.

Neste trabalho o ensaio de abrasão foi feito em três grupos de corpos de prova, sendo o primeiro grupo referente ao ensaio do metal base sem a solda de revestimento duro. O segundo e terceiro grupos de corpos de prova ensaiados foram referentes aos testes do metal base, com a solda de revestimento duro. Em todas as situações o ensaio de abrasão foi realizado sobre o metal base. A região de ensaio é apresentada nas Figuras 2 e 3.



Figura 2. Região do teste de abrasão do metal base sem a soldagem de revestimento duro (corpo de prova antes e após o ensaio).



Figura 3. Região de ensaio de abrasão do metal base com solda de revestimento duro (corpo de prova antes e após o ensaio).

Antes e após o ensaio, todos os corpos de prova foram pesados em balança digital, da marca Bel Engineering, com resolução de 0,001g. A diferença entre as massas medidas foi utilizada para o cálculo da perda volumétrica, adotando-se o valor de 7,85g/cm³ para a densidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ensaio de Microdureza

O gráfico da Figura 4 apresenta o perfil da microdureza Vickers, medido ao longo da espessura do metal base sem adição de solda de revestimento duro.

Este perfil de dureza tem relação direta com a temperabilidade do aço Hardox[®] 450, indicando uma redução da ordem de 8% no valor da dureza no núcleo da chapa, quando comparada com o valor da dureza da região próxima à superfície.

PERFIL DE MICRODUREZA DUREZA - METAL BASE

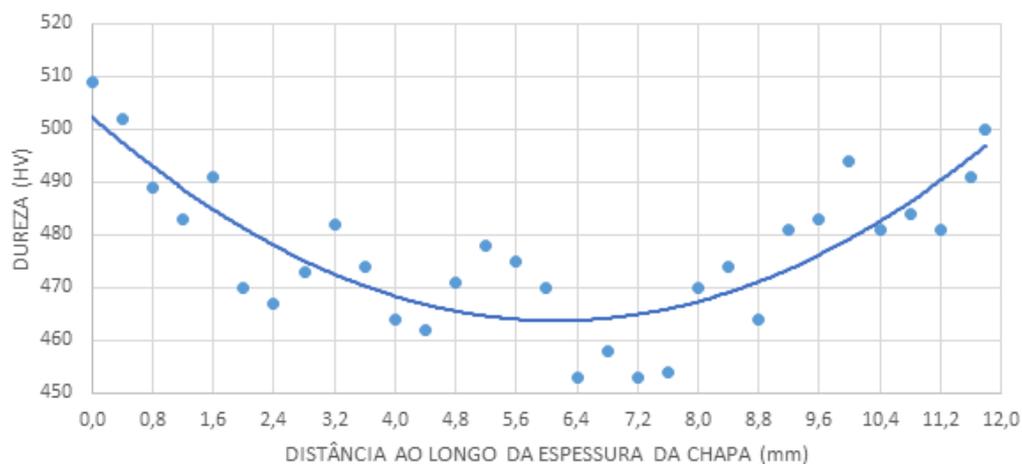


Figura 4. Perfil de microdureza Vickers do metal base sem adição de solda de revestimento duro

O gráfico da Figura 5 apresenta um comparativo do perfil de microdureza Vickers medido ao longo da espessura do metal base com a aplicação da solda de revestimento duro nos corpos de prova A e B.

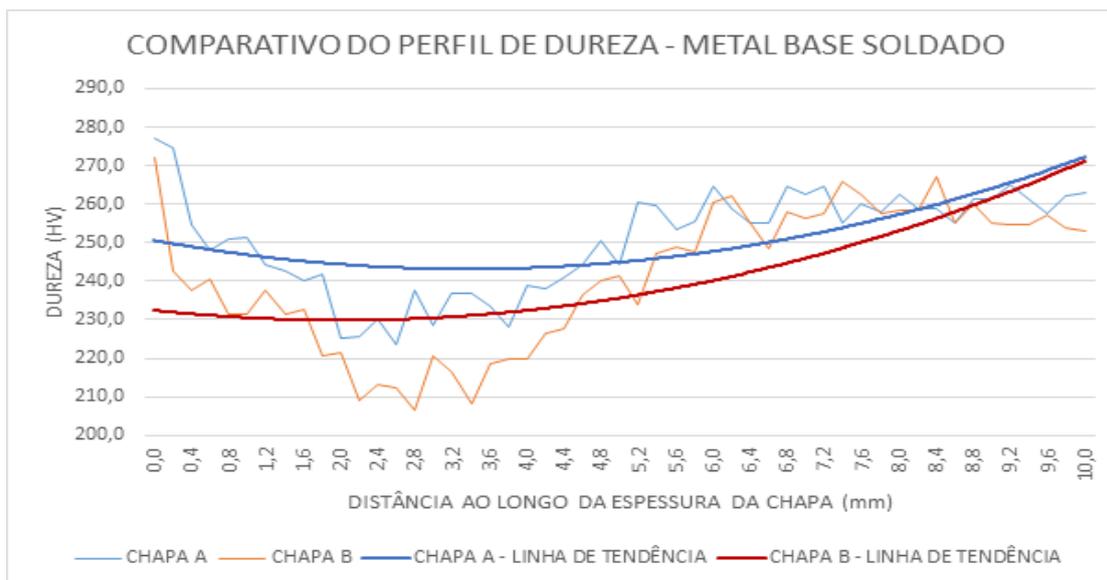


Figura 5. Perfil de microdureza Vickers do metal base com adição de solda de revestimento duro

Observa-se uma semelhança no comportamento do perfil de dureza entre os dois corpos de prova, com valores inferiores, da ordem de 4% no corpo de prova B, quando comparadas as médias das medições realizadas.

À medida que impressões se afastam da região da solda, os valores de dureza obtidos nas chapas A e B tendem a se igualar, o que pode ser explicado pela menor influência do aporte térmico nas regiões mais distantes da superfície soldada.

O gráfico da Figura 6 apresenta um comparativo entre o perfil de microdureza Vickers medido ao longo da espessura do metal base com solda de revestimento duro nos corpos de prova A e B, e o perfil de dureza do metal base sem adição de solda de revestimento duro.

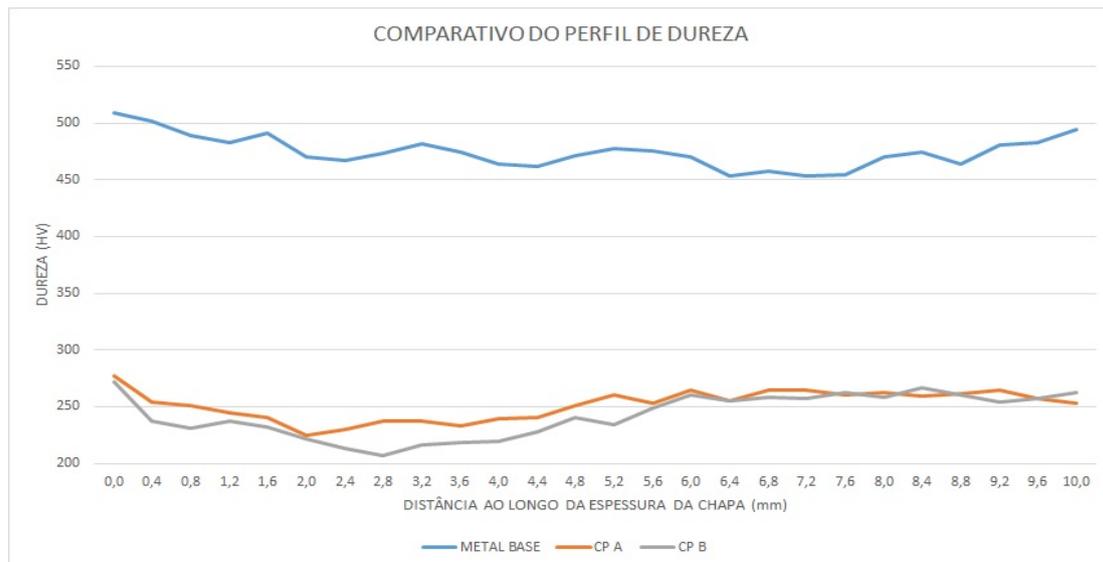


Figura 6. Comparativo do perfil de microdureza Vickers do metal base com e sem adição de solda de revestimento duro

Observa-se que, nos corpos de prova que receberam solda de revestimento duro, ocorreu uma queda da ordem de 48% no valor da microdureza Vickers, medida ao longo da espessura do metal base. O valor médio da microdureza caiu de 475HV no metal base sem solda de revestimento duro, para 247HV no metal base com solda de revestimento duro. Esta variação de dureza ocorreu em função do ciclo térmico que o corpo de prova sofreu durante o processo de soldagem de revestimento. Esta queda de dureza também foi observada em estudos realizados por Dudziński, Konat e Pękałski [7], Czupryński, Górka e Ślosarczyk [6], Costa [5] e Akbarnejad [4].

3.2 Ensaio de Abrasão

Os ensaios de abrasão realizados nos corpos de prova do metal base sem adição de solda de revestimento apresentaram os valores mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados de ensaios de abrasão do metal base sem solda de revestimento duro

Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (g)	Perda Volumétrica (mm ³)
141,3560	140,7896	0,5664	72,15
141,3682	140,8687	0,4995	63,63
140,3489	139,7481	0,6008	76,54
141,6570	141,1600	0,4970	63,31

A partir destes resultados, pode-se observar que o metal base sem adição de solda de revestimento duro apresentou perda volumétrica média de 68,9mm³, com desvio padrão de 5,65mm³.

Os ensaios de abrasão realizados nos corpos de prova do metal base com adição de solda de revestimento duro na chapa A apresentaram os valores mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados de ensaios de abrasão do metal base com solda de revestimento duro chapa A

Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (g)	Perda Volumétrica (mm ³)
219,1178	218,0464	1,0714	136,48
219,8312	218,7006	1,1306	144,03
222,5949	221,6359	0,9590	122,17
218,6801	217,6137	1,0664	135,85

A partir destes resultados, tem-se que o metal base com solda de revestimento duro na chapa A, apresentou perda volumétrica média de 134,6mm³, com desvio padrão de 7,88mm³.

Os ensaios de abrasão realizados nos corpos de prova do metal base com adição de solda de revestimento duro na chapa B apresentaram os valores mostrados na Tabela 5.

Tabela 5. Resultados de ensaios de abrasão do metal base com solda de revestimento duro chapa B

Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (g)	Perda Volumétrica (mm ³)
197,0609	196,0828	0,9781	124,60
192,4442	191,5239	0,9203	117,24
191,7486	190,6802	1,0684	136,10
191,7619	190,7768	0,9851	125,49

A partir destes resultados, tem-se que o metal base com a aplicação de solda de revestimento duro na chapa B, apresentou perda volumétrica média de 125,9mm³, com desvio padrão de 6,73mm³.

Os resultados obtidos indicam que não há diferença estatística entre as chapas A e B, que receberam diferentes aportes térmicos no processo de soldagem de revestimento. Observa-se também que quando comparados com o metal base sem solda de revestimento, os corpos de prova das chapas A e B apresentaram queda na resistência à abrasão da ordem de 45 a 49%.

4 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos e com base nas discussões feitas, podem-se estabelecer as seguintes conclusões:

- O aporte térmico proveniente do processo de soldagem de revestimento promoveu redução nos valores da dureza do metal base para ambos os valores de corrente de soldagem utilizados nos experimentos.
- O aporte térmico proveniente do processo de soldagem de revestimento promoveu redução da resistência à abrasão, quando comparado com o metal base sem solda de revestimento duro, para ambos os valores de corrente de soldagem utilizados nos experimentos.
- Não houve diferença significativa na resistência à abrasão, quando comparados os resultados dos ensaios realizados nos corpos de prova soldados, para ambos os valores de corrente de soldagem utilizados nos experimentos.

REFERÊNCIAS

- 1 Adamiak M, Górka J, Kik T. Comparison of abrasion resistance of selected constructional materials. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 2009; 37(2):375-380.
- 2 Ulewicz R, Mazur M, Bokůvka O. Structure and mechanical properties of fine-grained steels. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*. 2014;41(2):111-115.
- 3 SSAB. General product information Weldox, Hardox, Armox and Toolox. 2011 [acesso em 17 maio 2014]; 11. Disponível em: <http://www.ssab.com>.
- 4 Akbarnejad S. Investigation on static strength of welded joints [dissertação de mestrado]. Estocolmo: Royal Institute of Technology; 2012.
- 5 Costa VM. Análise da tenacidade de uma junta soldada de um aço resistente à abrasão da série 450 HB [dissertação de mestrado]. Porto Alegre: Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, PPGE3M – EEUFRG, Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2014.
- 6 Czupryński A, Górka J, Ślosarczyk J. Improving the operating properties of coal mining machinery elements. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa*. 2013; 4:44-49.
- 7 Dudziński W, Konat Ł, Pękalski G. Structural and strength characteristics of wear-resistant martensitic steels. *Archives of Foundry Engineering*. 2008; 8(2):21-26.