



**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**
RIO GRANDE DO SUL
Câmpus Farroupilha

INFLUÊNCIA DO SENTIDO DE LAMINAÇÃO NA RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE AÇOS FERRAMENTAS

Fabrcio Pertile, f_p_10@hotmail.com¹

Samyr Ismail, samyrismail@gmail.com²

Lisiane Trevisan, lisiane.trevisan@farroupilha.ifrs.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Rio Grande do Sul, Câmpus Farroupilha, Avenida São Vicente, 785, Cinquentenário, Farroupilha, RS.

²Tramontina Indústria Metalúrgica S/A, RS-122, sem número, Industrial, Farroupilha RS.

Resumo: Com uma alta demanda na utilização dos materiais metálicos, o estudo de suas propriedades é algo fundamental. De modo a identificar o comportamento de três materiais distintos na resistência ao ensaio de impacto, foram elaborados corpos de prova de cada um dos materiais, variando a dureza e o sentido da orientação da retirada das amostras dos blocos e chapas dos mesmos. A partir disso, identificou-se que para um dos três materiais avaliados quanto maior a dureza maior a influência do sentido da retirada do corpo de prova. Para os outros dois materiais os valores ficaram muito baixos, assim foi possível identificar sua fragilidade nos parâmetros utilizados.

Palavras-chave: Charpy, fratura frágil, impacto, laminação, orientação da amostra.

1. INTRODUÇÃO

Desde a pré-história o homem faz uso de ferramentas em seu cotidiano. Na idade da pedra essas ferramentas eram confeccionadas a partir de fragmentos de rochas, e foi somente mais tarde que surgiu a era dos metais. Nessa era se inicia a substituição da pedra pelo metal, porém isso só foi possível depois do conhecimento e da manipulação que o ser humano fez desse tipo de material. Com um aumento na demanda de utilização, os materiais metálicos passaram a ser estudados e desenvolvidos para melhor atender a cada proposta de aplicação. Para auxiliar no desenvolvimento e na caracterização de cada um dos diversos materiais metálicos existentes se emprega o uso de ensaios mecânicos. Esses ensaios podem ser denominados destrutivos ou não destrutivos, sendo esses dinâmicos ou estáticos Souza (2009).

Um ensaio que é muito utilizado devida sua facilidade de execução é o ensaio de impacto. A partir desse ensaio se obtém simplesmente uma medição de energia absorvida pela amostra, não garantindo o comportamento de toda uma estrutura em condições reais. Ele pode ser realizado de duas formas, Charpy ou Izod. As duas possibilidades de ensaio se diferem, principalmente, pelo posicionamento do entalhe, que no caso do ensaio Charpy é localizado no centro do corpo de prova e no Izod é deslocado de seu centro. Outra diferença é no método de fixação do corpo de prova na máquina de ensaio, já que no ensaio Izod o corpo de prova é inserido em uma cavidade e no ensaio Charpy a amostra é inserida sobre apoios e firmada pelos batentes laterais Souza (2009).

O surgimento deste tipo de ensaio adveio da ocorrência de fraturas frágeis em navios e blindados durante a segunda guerra. Esse fato pode ser visto na Fig. 1, que apresenta a ruptura total no casco do navio Liberty. Este fenômeno fez com que os fatos fossem analisados de forma mais criteriosa, pois além das ocorrências nos navios foram constatadas outras falhas similares em pontes e tubulações. A partir destes acontecimentos históricos o ensaio de impacto se difundiu, tendo como objetivo principal tornar visível a transição dúctil-frágil de um material Callister (2011).



Figura 1. Exemplo de fratura frágil, em um navio de Callister (2011).

Existem três condições que podem causar a fratura frágil em um material que possui comportamento dúctil em temperaturas ambiente, sendo eles, segundo Souza (2009):

- baixas temperaturas;
- componentes submetidos a um estado triaxial de tensões e;
- aplicações de altas taxas de deformação no elemento.

Uma representação esquemática do funcionamento do equipamento pode ser verificada na Fig. 2.

“A carga é aplicada pelo impacto de um martelo pendular, que é liberado a partir de uma posição padronizada e de uma altura fixa (H_q). Após o pêndulo ser liberado, sua ponta choca-se e fratura o corpo de prova no entalhe, que atua como um concentrador de tensões. O pêndulo continua seu movimento após o choque, até uma altura (h_r) menor que a altura de liberação do pêndulo (H_q). A energia absorvida no impacto é determinada a partir da diferença entre H_q e h_r , ambas medidas na escala do equipamento” Garcia (2012, p.246).

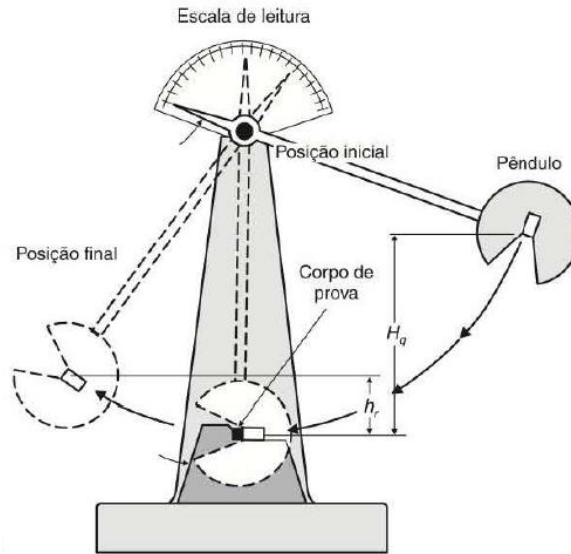


Figura 2. Máquina de ensaio de impacto de Garcia (2012).

A energia obtida através do ensaio de impacto pode sofrer variações por alguns fatores. Um desses fatores que tem notável importância e que pode modificar de forma significativa as propriedades mecânicas do material, sendo mais significativo em materiais trabalhados mecanicamente a frio, é o sentido da retirada dos corpos de prova do material. A Fig. 3 ilustra os sentidos de retirada dos corpos de prova de uma chapa de aço com baixo carbono que havia sofrido uma laminação a frio. Essa figura descreve também os dados referentes a resistência do material em cada um dos sentidos de retirada da amostra Garcia (2012).

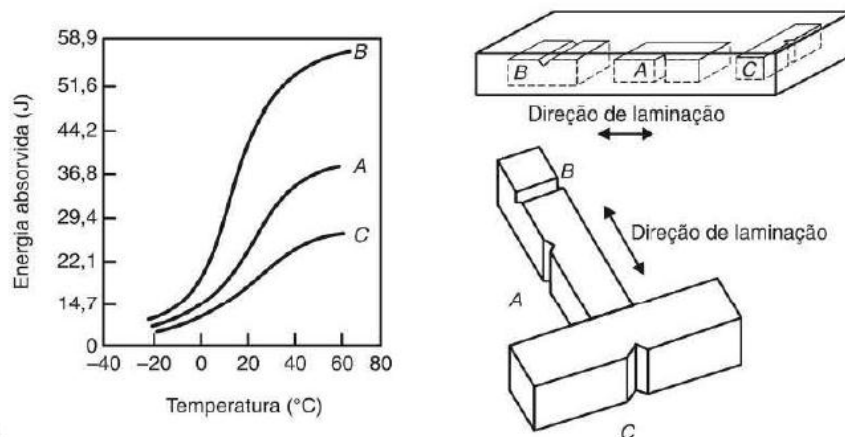


Figura 3. Influência na energia absorvida em ensaio de impacto para diferentes sentidos para retirada dos corpos de prova de Garcia (2012).

Os sentidos de retirada do corpo de prova influenciam nos resultados do impacto, principalmente devido a um possível trabalho a frio que o material tenha sofrido anteriormente. Quando se submete um material ao processo de laminação, ele estará sofrendo um alongamento em algum sentido direcional. Esse alongamento é provocado por uma série de escorregamentos internos nos materiais (discordâncias), sendo que esses são causados nos sistemas mais favoráveis. Assim, os grãos do material mudam de formato e passam a ser mais alongados. O alongamento se dá no sentido em que o material sofreu o estiramento e esse depende também do espaço que o grão tem para se deformar Callister (2011).

De acordo com Magnabosco (2003), essa deformação a frio sofrida pelo material tem um efeito em sua microestrutura, deixando os grãos mais alongados, conforme Fig. 4-a e Fig. 4-b. Dependendo do sentido de alongamento perante a aplicação do esforço, o rompimento do componente pode ser facilitado ou não. O autor ainda afirma, que quanto maior for o refinamento de grãos do material, maior será sua resistência mecânica, dado que esses fenômenos podem ser de maior significância para alguns materiais e de menor para outros.

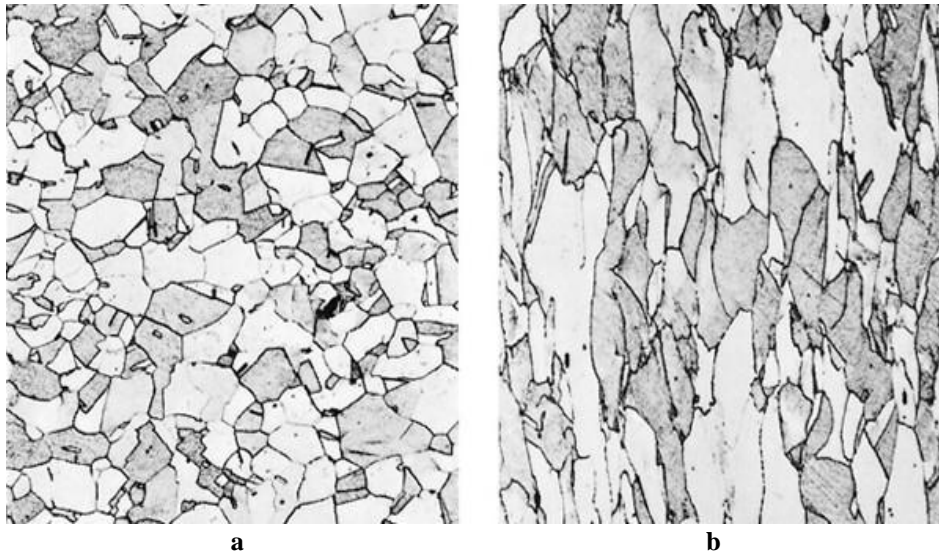


Figura 4. a) Ilustração dos grãos de um material antes de um trabalho mecânico a frio. b) Ilustração da deformação causada nos grãos por uma deformação a frio de Callister (2011).

O gráfico apresentado na Fig. 3 pode ser mais bem compreendido a partir das Fig. 4-a e Fig. 4-b. Com relação a Fig. 4-a percebe-se que um material que não tenha sofrido um alongamento permanente dos grãos a direção de aplicação da tensão não é de grande relevância, visto que ocorrerá apenas a separação dos grãos em seus contornos. Já na Fig. 4-b tem-se um material com os grãos alongados, sendo este um fator que pode aumentar sua resistência mecânica. Esse aumento é dependente da direção de aplicação da tensão, pois em uma das direções ela deve romper os grãos, o que demanda maior esforço. Logo, se aplicada no sentido contrário à tensão para romper o material pode ser menor uma vez que ela apenas deve efetuar a separação dos grãos em seu contorno.

Assim sendo, o presente trabalho tem como objetivo verificar a influência do sentido de retirada do corpo de prova de um bloco de aço DIN-12767, com base nos resultados Charpy. Também foi efetuado o mesmo ensaio para outros dois materiais de categorias distintas, de modo a perceber seu comportamento diante ao teste, e se possível efetuar um comparativo de absorção de energia entre os três materiais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente tópico abordou o processo de fabricação dos corpos de prova, bem como a prática do ensaio realizado. Para melhor apresentar as etapas realizadas no trabalho apresenta-se a Fig. 5, a qual descreve o fluxo de trabalho para realização deste artigo.

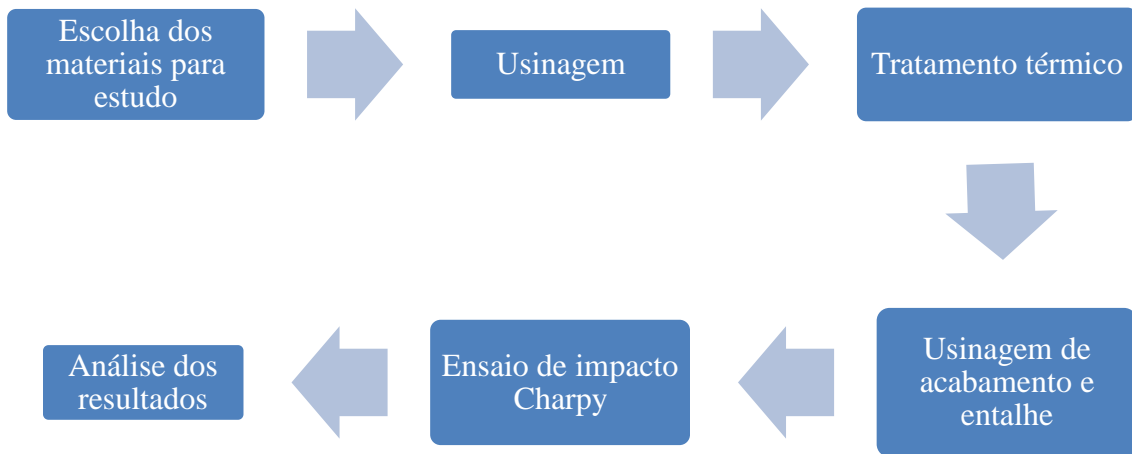


Figura 5. Fluxograma das etapas realizadas no trabalho.

2.1. Corpos de Prova

Para realização do estudo foram selecionados três aços ferramentas, sendo esses: aço DIN 1.2767, denominado de material “A”, é um material de alta tenacidade e não apresenta um sentido preferencial de maior resistência ao impacto; o material DIN 1.2379, chamado de “B”, que se trata de um aço de alta resistência ao desgaste; e um aço rápido sinterizado, nomeado de “C” por se tratar de uma tecnologia que proporciona ao material uma maior homogeneidade garante uma menor influência da microestrutura nos valores obtidos no ensaio Charpy. A composição química desses materiais conforme indica o catálogo do fabricante está representada na Tab. 1.

Tabela 1. Composição química dos materiais utilizados.

Nomenclatura	C	Si	Cr	Ni	Mo	Mn	V	W	Co
A	0,42	0,12	1,20	4,00	0,49	0,35	-	-	-
B	1,50	0,30	12,00	-	0,95	-	0,90	-	-
C	1,60	0,30	4,80	-	2,00	0,30	5,00	10,50	8,00

Em seguida foram confeccionados os corpos de prova de acordo com a norma ASTM E23-07a com as medidas de acordo com a Fig. 6, respeitando as tolerâncias exigidas por ela. A retirada dos corpos de prova aconteceu nos sentidos b e c da Fig. 2. Nessa etapa foi executada a usinagem para o esquadrejamento e uma aproximação das medidas finais. Na Fig. 7, os entalhes foram feitos com uma fresa de 0,5mm de diâmetro, e para verificação desses foi utilizado um projetor de perfil como mostra a Fig. 8.

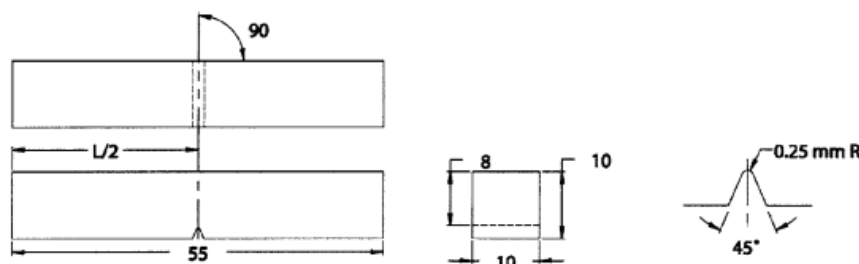


Figura 6. Dimensões do corpo de prova. Imagem adaptada da norma ASTM E23-07a (2007).



Figura 7. Usinagem do corpo de prova para o ensaio Charpy.



Figura 8. Verificação do ângulo do entalhe no projetor de perfil.

A partir do tratamento térmico os materiais foram divididos em grupos da seguinte forma:

- o material “A” foi dividido em três grupos com durezas de 48, 51 e 55 HRC, identificados como “Grupo 1”, “Grupo 2 ” e “Grupo 3”, respectivamente, os quais se subdividem de acordo com o sentido de retirada dos corpos de prova do bloco;
- o material “B” teve apenas um grupo com a dureza de 55HRC, sendo que este também se subdividiu de acordo com a orientação da retirada das amostras, nomeado como “Grupo 1”;
- o material “C” como é um material sinterizado e sofre uma menor influências da orientação na remoção da amostra devido ao seu processo de fabricação, apenas foram criados três grupos variando a dureza.

Os grupos obtidos por meio do tratamento térmico das amostras estão descrita na Fig. 9 representando o material “A”, Fig. 10 representando material “B” e Fig. 11 representando o material “C”.

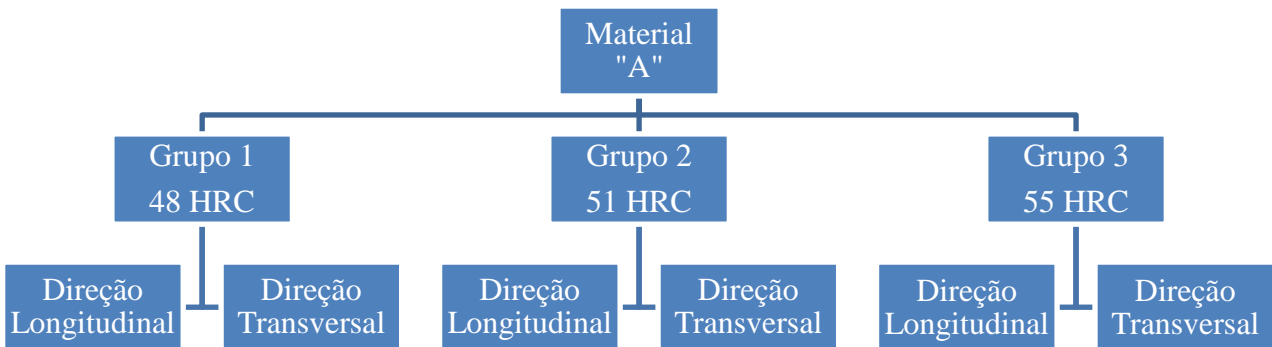


Figura 9. Fluxograma representado os grupos de acordo com cada uma ss durezas do material “A”.

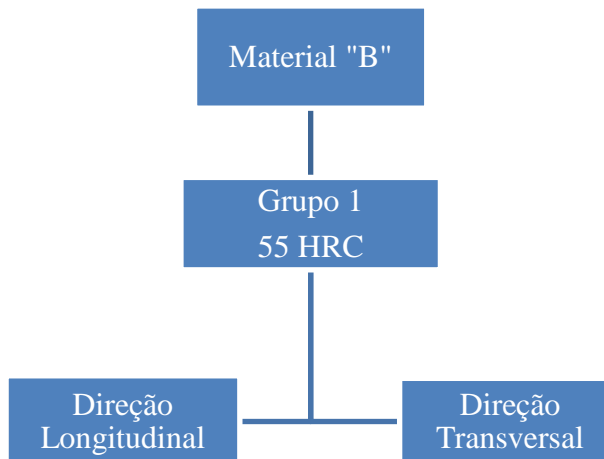


Figura 10. Fluxograma representado o grupo de acordo com a dureza do material “B”.

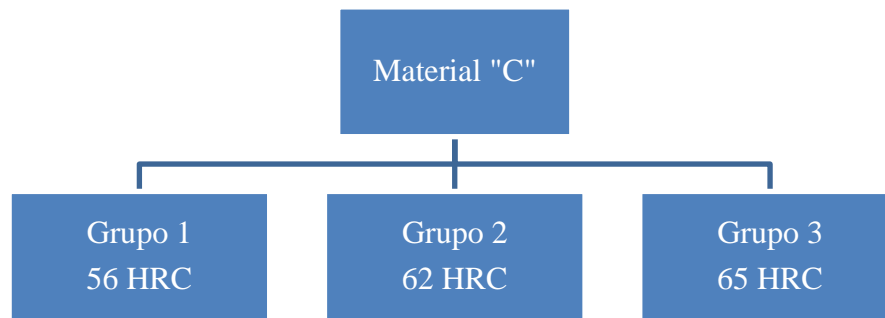


Figura 11. Fluxograma representado os grupos de acordo com as durezas do material “C”.

Como observado na tabela acima, o material “A” dispõe de três durezas distintas. Para cada dureza o sentido de retirada da amostra ocorreu de duas maneiras, longitudinal e transversal (direções B e C de acordo com a Fig. 3 respectivamente), sendo assim, foram utilizados cinco corpos de prova para cada sentido de retirada, totalizando dez para cada uma das durezas. O mesmo processo foi utilizado com o material “B”, porém esse material possui somente uma dureza. Logo, foram fabricadas apenas dez amostras, sendo cinco para cada orientação. Já com o material “C”, a retirada do corpo de prova foi realizada apenas uma maneira. Portanto, fabricaram-se quinze amostras, sendo cinco para cada uma das três durezas desse material.

2.2. Ensaio de Impacto Charpy

Para a realização do ensaio destrutivo das amostras foi utilizado a máquina de ensaio de impacto modelo JB-300A I/C, como mostra a Fig. 12. A mesma encontra-se instalada no laboratório de ensaios mecânicos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) - Campus Farroupilha. O equipamento não possui o certificado de calibração, mas como o objetivo do trabalho é qualitativo e não quantitativo, optou-se por utilizá-la da mesma forma, devido ao erro associado a não calibração estar presente nos resultados de todas as amostras.



Figura 12. Imagem da máquina utilizada nos ensaios.

Após a preparação da amostra e do equipamento era dado início ao ensaio propriamente dito, efetuando a liberação do martelo. Posteriormente, realizava-se a leitura da quantidade de energia absorvida pelo corpo de prova e a união das partes das amostras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O material “A” com dureza de 48 HRC foi submetido ao ensaio de impacto nos sentidos transversal e longitudinal e seus resultados estão demonstrados na Fig. 13.

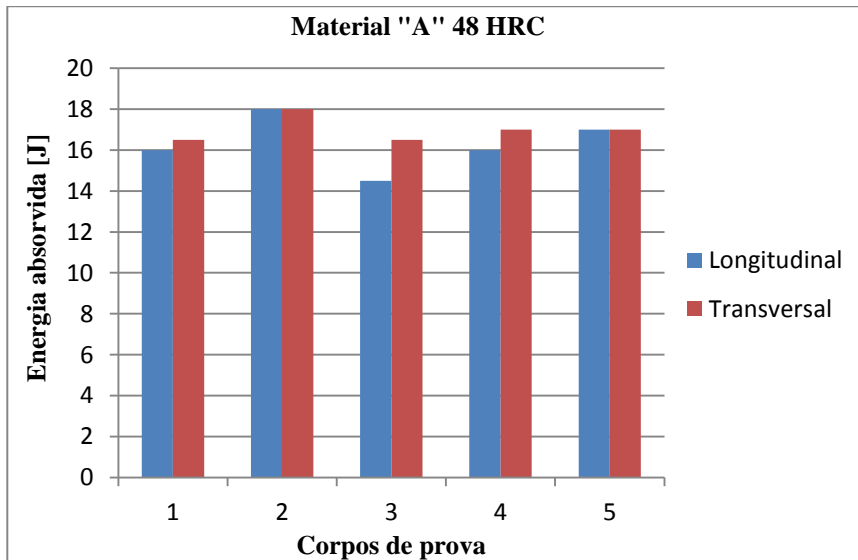


Figura 13. Gráfico dos resultados de absorção de energia do material “A” com 48-HRC.

Após os ensaios das amostras do grupo um pode-se perceber que o material “A” não apresenta uma variação significativa na sua tenacidade ao impacto em ambas às orientações de retirada da amostra. A amostra dois teve como maior valor de absorção de energia 18J, tanto no sentido transversal quanto longitudinal da retirada. Levando em consideração a absorção média de energia das amostras com essa dureza, torna-se mais evidente que esse fator não apresenta influência significativa. Isso é visto já que a direção longitudinal de retirada teve um valor médio 16,5J de energia absorvida com desvio padrão de 2,27J, enquanto a retirada no sentido transversal teve como média 17J e desvio padrão de 2,16J.

Para o segundo grupo do material “A”, com a dureza de 51-HRC, ocorreu uma variação de pouca proporção como mostra a Fig. 14. Porém, se comparado com o anterior, à orientação de retirada da amostra apresentou influência nos resultados devido ao aumento da dureza. Efetuando uma avaliação na média dos valores absorvido em cada uma das orientações, percebeu-se que no sentido longitudinal as amostras absorveram maior quantidade de energia 17,8J, e no sentido transversal absorveu apenas 14,4J, tendo o desvio padrão em 2,59J e 3,05J respectivamente.

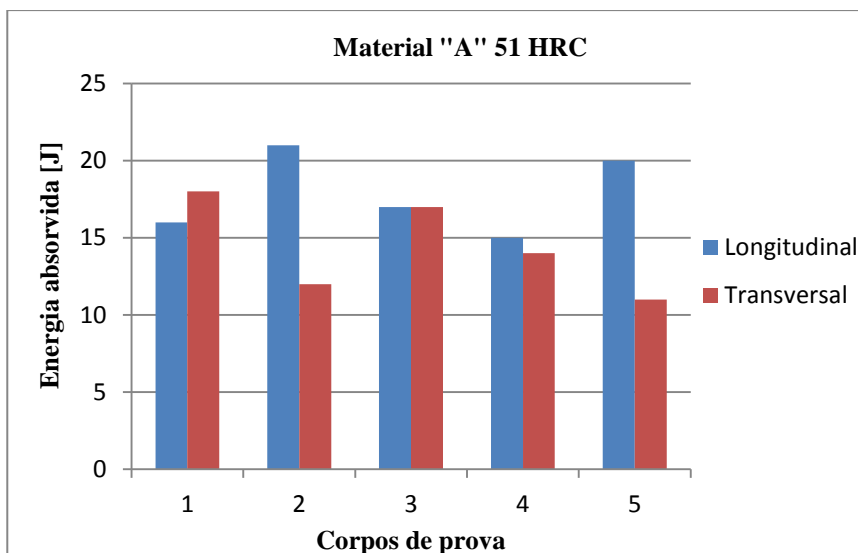


Figura 14. Gráfico dos resultados de absorção de energia do material “A” com 51-HRC.

Já para o terceiro grupo do material “A”, com dureza de 55HRC, a diferença no sentido de retirada do corpo de prova ficou mais perceptível, como mostra a Fig. 15. Por conseguinte, foi possível perceber, comparando com o “Grupo 1” e o “Grupo 2”, que com o aumento da dureza a orientação da retirada da amostra influencia nos resultados. Nesse grupo os valores médios obtidos foram de 17J no sentido longitudinal e 13J na transversal, considerando um desvio padrão de 1,30J para o longitudinal e de 0,61 para o transversal.

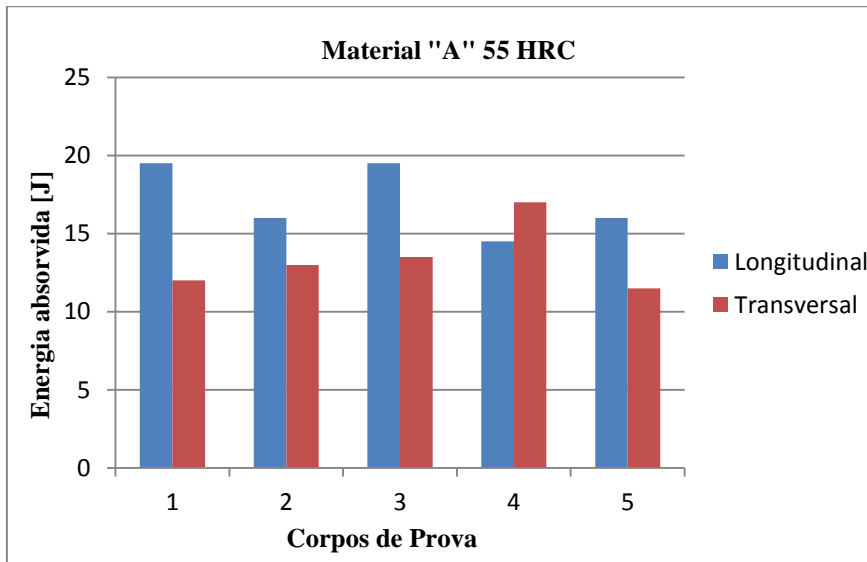


Figura 15. Gráfico dos resultados de absorção de energia do material “A” com 55-HRC.

Efetuada um comparativo entre os grupos do material “A”, percebe-se que ao aumentar a dureza desse material, a direção longitudinal torna-se mais resistente ao impacto. A partir das imagens das fraturas do material “A” é possível verificar que com o aumento da dureza das amostras há um aumento no aspecto de fratura frágil, conforme Fig. 16. Nessas imagens das fraturas é possível perceber que no material com a dureza de 48 HRC a fratura é mais porosa e com o aumento da dureza do material essa porosidade, característica de fratura dúctil, dá espaço a uma fratura mais plana e sem porosidade o que demonstra indicação de fragilidade do material.

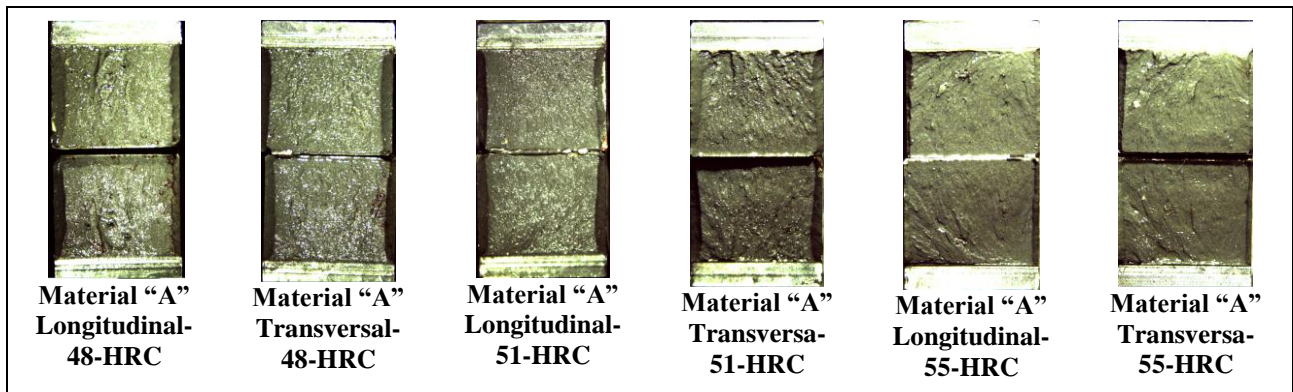


Figura 16. Imagens das fraturas do material “A” em cada grupo nos sentidos longitudinal e transversal.

Para o material “B” que apresentava apenas um grupo de dureza, verificou-se que o sentido de retirada da amostra tem influência, como pode ser observado na Fig. 17. Mesmo que em uma baixa faixa de absorção de energia com média de 3J com desvio padrão de 0,22J no sentido longitudinal e 1,8J com o desvio padrão de 0,27J na direção transversal, ainda é possível verificar as diferenças, apesar desse material ainda manter seu comportamento frágil.

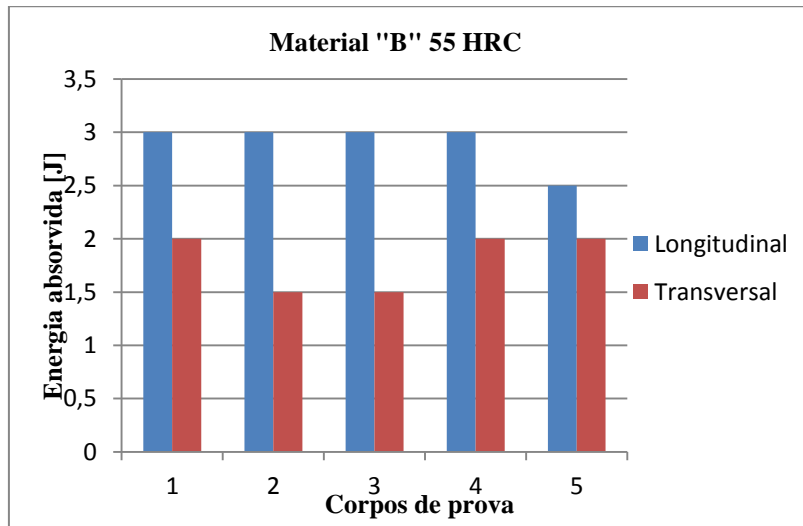


Figura 17. Gráfico dos resultados de absorção de energia do material “B” com 55-HRC.

As imagens das fraturas do material “B”, Fig. 18, permitem perceber linhas verticais na amostra transversal e no longitudinal não apresenta linhas que indicam o percurso da fratura. Essas linhas verticais são causadas pela separação das fibras do material que estavam nesse sentido, facilitando a ruptura do mesmo. Já no sentido longitudinal, essas linhas não são percebidas devido à presença de estrias acontecerem no sentido oposto da ruptura, isso garante maior resistência.

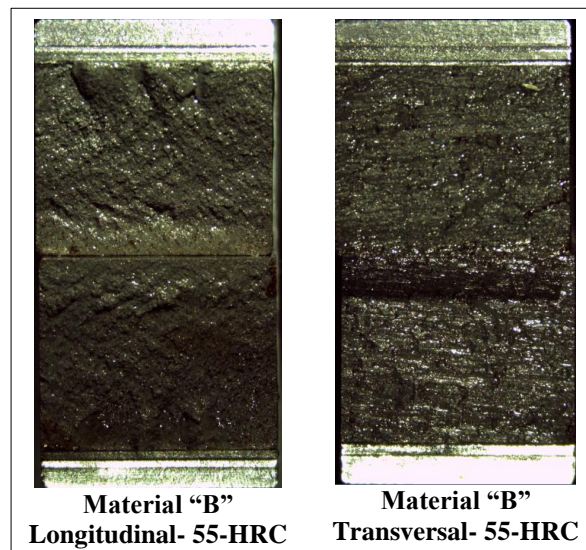


Figura 18. Imagens das fraturas do material “B” com 55-HRC, nos sentidos longitudinal e transversal.

Analisando os valores obtidos para o material “C” na Fig. 19 percebe-se que esse também teve um comportamento frágil. Mas, os resultados do grupo com a dureza de 65-HRC teve os valores de maior absorção de energia, em média absorveu 3,3J (desvio padrão = 0,76J), enquanto os outros dois grupos com 62 e 56-HRC apresentaram uma absorção média de 2,7 (desvio padrão = 0,45J) e 2,4J (desvio padrão = 0,38J) respectivamente. Efetuando um comparativo com o material “B”, que da mesma forma teve um comportamento frágil, pode-se perceber que mesmo com durezas maiores o material “C” absorve mais energia no impacto.

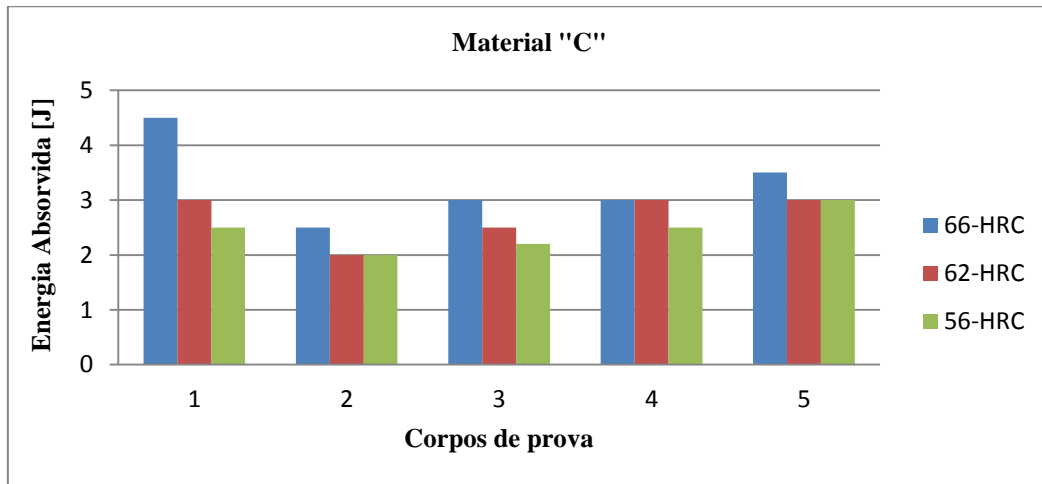


Figura 19. Gráfico dos resultados de absorção de energia do material “C” nas durezas de 65; 62 e 56-HRC.

O comportamento frágil do material “C”, que já era esperado devido sua dureza, pode ser analisado através da Fig. 20. Identificou-se que a amostra apresentou uma fratura plana e sem presença de *dimples*, sendo esse um indicativo de fragilidade do material.

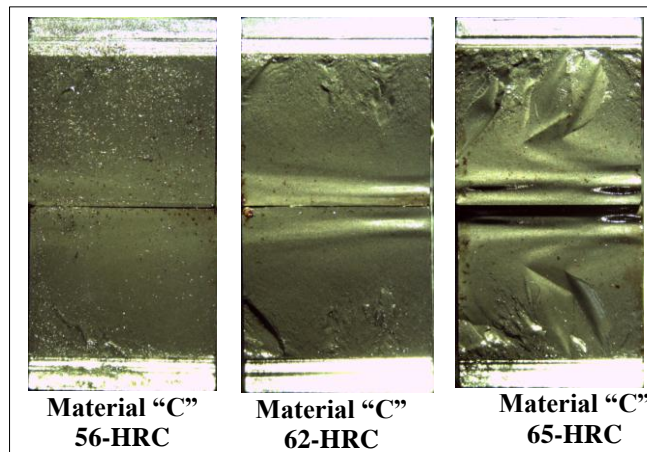


Figura 20. Imagens das fraturas do material “C” nas durezas de 65; 62 e 56-HRC.

Para melhor entender a diferença entre as fraturas dos materiais realizou-se um ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Com isso, pode-se observar que a fratura do material “A” apresentou uma tendência à fratura dúctil devido à formação de *dimples*, Fig. 21.

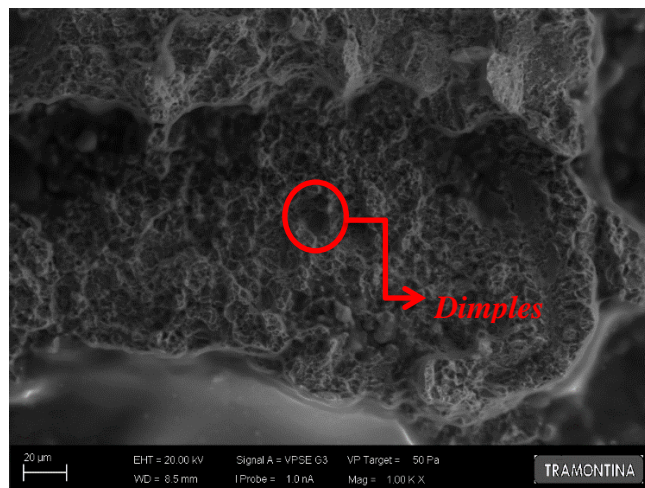


Figura 21. MEV da superfície de fratura do material “A” com 55 HRC e no sentido Transversal (1000x).

Já o material “C”, comportou-se de maneira frágil com uma fratura mais plana, sem a formação de *dimples* como mostra a Fig. 22, nessa podemos perceber menor quantidade de *dimples* na superfície de fratura, o que poderia caracterizar uma fratura frágil.

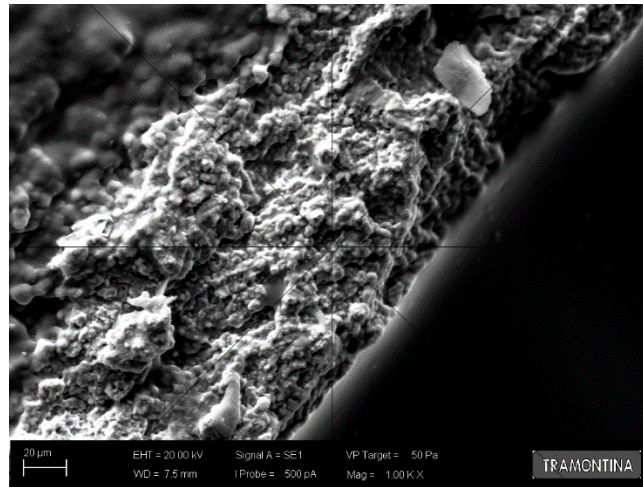


Figura 22. MEV da superfície de fratura do material “C” com 65 HRC (1000x).

De maneira geral os materiais “B” e “C” tiveram um comportamento frágil se comparado ao material “A”, principalmente levando em consideração a absorção de energia. Outro ponto importante percebido no material “A” foi a influência no sentido da retirada da amostra (longitudinal ou transversal) de acordo com o aumento da dureza, ou seja, quanto maior a dureza maior a influência no sentido da retirada.

Além disso, foi possível verificar que o material “C” possuiu maior resistência ao impacto no grupo três (grupo com maior dureza), porém esperava-se que seu comportamento sucedesse de maneira frágil, visto que quanto maior a dureza, maior a fragilidade e por consequência menor a resistência ao impacto. Entretanto se comparado ao material “B” com menor dureza, que também apresentou características de fragilidade, o material “C” mostrou-se mais resistente ao impacto.

4. CONCLUSÃO

De acordo com os dados obtidos nos ensaios foi possível concluir:

- O aumento da dureza do material “A” também ocorre o aumento da influência da orientação da retirada da amostra na absorção de energia;
- O material “B” apresentou as maiores diferenças de tenacidade entre os sentidos de retirada dos corpos de prova;
- O material “C”, mesmo com uma dureza consideravelmente maior que o material “B”, ainda alcançou maiores valores de absorção de energia;
- Os materiais “B” e “C” por terem valores baixos de absorção de energia sendo materiais com comportamento frágil, seria coerente efetuar uma avaliação com o ensaio de impacto nos corpos de prova sem o entalhe, isso seria a indicação da norma ASTM E23-07 que para materiais sinterizados se utilize corpos de prova não entalhados. Isto permitiria um distanciamento do possível erro de medição do equipamento devido ao aumento de resistência ao impacto das amostras por não possuírem o concentrador de tensão (entalhe);
- O material “A”, sendo um material mais tenaz, seria necessário uma máquina com maior faixa na escala de medição de absorção de energia no caso de trabalhar com os corpos de prova não entalhados, mas de acordo com a norma ASTM E23-07, é possível efetuar um comparativo desse material com entalhe com os outros sem o entalhe nas amostras;
- Para um possível trabalho futuro indica-se o levantamento da curva de transição dúctil frágil dos materiais em estudo.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que iluminou o meu caminho durante esta caminhada.

À Julia Conte Bazzi, pessoa com que amo partilhar a vida. Obrigado pelo carinho, a paciência, pelas correções e principalmente por sua capacidade de me trazer paz nas situações mais complicadas de cada semestre.

À minha família, por acreditar e investir em mim. Mãe, seu cuidado e dedicação foi que deram, em alguns momentos, a esperança para seguir. Pai, sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinho nessa

caminhada.

Agradeço a empresa Tramontina Farroupilha S/A, que disponibilizando materiais, equipamentos e serviços para tornar possível o desenvolvimento deste estudo.

Ao funcionário da empresa Tramontina Farroupilha Samyr Ismail, pela dedicação aos ensinamentos complementares e pela orientação do presente trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Câmpus Farroupilha, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a ampla visão que hoje tenho.

A minha professora orientadora Lisiane Trevisan que teve paciência e que me ajudou a concluir este trabalho, agradeço também aos meus professores que durante todo o curso me ensinaram e mostraram-me o quanto importante e bom estudar.

E por fim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

6. REFERÊNCIAS

- ASTM, E. 23. 23; Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials. Annual Book of ASTM Standards, v. 3, 2016.
- ASTM, E. 23-07; Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials Metallic Materials. Annual Book of ASTM Standards, v. 3, 2007.
- CALLISTER, William. Ciência E Engenharia de Materiais: Uma Introdução . Grupo Gen-LTC, 2011.
- DE SOUZA, Sérgio Augusto. Ensaio mecânicos de materiais metálicos. Edgard Blucher, 2009.
- GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime Alvares; DOS SANTOS, Carlos Alexandre. Ensaio dos materiais. Livros Técnicos e científicos, 2012.
- MAGNABOSCO, R.; ROSSETTO, L. C. Toughness of two HSLA steel sheets. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, v. 25, n. 2, p. 170-173, 2003.

INFLUENCE OF THE LAMINATION SENSE OF RESISTANCE TO THE IMPACT OF STEEL TOOLS

ABSTRACT

Fabrcio Pertile, f_p_10@hotmail.com¹

Samyr Ismail, samyrismail@gmail.com²

Lisiane Trevisan, lisiane.trevisan@farroupilha.ifrs.edu.br¹

¹Federal Institute of Education, Science and Technology, Rio Grande do Sul, Câmpus Farroupilha, Avenue São Vicente, number 785, Cinquentenário, Farroupilha, RS.

²Tramontina Metallurgical Industry S/A, mailing address, RS-122, no number, Industrial, Farroupilha RS.

Abstract: *With a high demand in the use of metallic materials, the study of their properties is fundamental. In order to identify the behavior of three different materials from the Charpy impact test, specimens were prepared from each of the materials by varying the hardness and direction of the removal of samples from the blocks and plates thereof. From this, it was identified that for one of the three materials evaluated the higher the hardness, the greater the influence of the direction of removal of the specimen. For the other two materials the values were very low, so it was possible to identify their fragility in the parameters used.*

Keywords: *charpy, impact, fragile fracture, lamination, test body orientation.*