

AVALIAÇÃO DE FALHAS EM PROCESSO DE ESTAMPAGEM PROFUNDA PARA FABRICAÇÃO DE CARRINHOS DE MÃO

Jonas Gabriel Ramos da Silva Ataliba, jonas.ataliba@ifrj.edu.br¹
André Rocha Pimenta, andre.pimenta@ifrj.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Rua Sebastião Lacerda, s/n, Fábrica, Paracambi - RJ,

Resumo. *Construções civis e desenvolvimentos de produtos cada vez mais dependem de opções de baixo peso, preço ótimo e desempenho de aço previsível. As chapas de aço são usadas no dia a dia, assumindo formatos diversos através da conformação mecânica, fazendo-se necessário a previsibilidade de seu comportamento a fins de melhoria de desempenho da indústria metalmeccânica. O presente trabalho tem como objetivo analisar as propriedades e características de chapas confeccionadas com aço baixo teor de carbono usadas nos processos de estampagem de carrinhos de mão. Foram analisadas quatro amostras de chapas, sendo que apenas em uma das amostras foi possível observar boa resposta plástica. As amostras foram submetidas a ensaios de tração, a fim de determinar propriedades mecânicas, e a ensaio metalográfico, para que haja a determinação do material e de sua microestrutura. Uma vez que os ensaios foram realizados seus resultados condizem com os esperados para aços de baixo teor de carbono largamente empregados na indústria, tendo variações entre si. A amostra retirada diretamente de um carrinho foi analisada quimicamente revelando cobertura de zinco e composições conforme norma. Amostras originadas da "chapa preta" fornecida pelo cliente, tiveram desempenho superior às demais.*

Palavras chave: *processos de fabricação; engenharia mecânica; ensaio de tração; estampagem.*

Abstract. *Civil construction and product development increasingly rely on low weight, optimal price and predictable steel performance options. Steel sheets are used on a daily basis, assuming different formats through mechanical forming, making it necessary to predict their behavior in order to improve the performance of the metalworking industry. The present work aims to analyze the properties and characteristics of sheets made with low carbon steel used in the stamping processes of wheelbarrows. Four sheet samples were analyzed, and only one of the samples was able to observe a good plastic response. The samples were submitted to tensile tests, in order to determine mechanical properties, and to metallographic tests, in order to determine the material and its microstructure. Once the tests were carried out, their results are in line with those expected for low-carbon steels widely used in the industry, with variations between them. The sample taken directly from a trolley was chemically analyzed revealing zinc coating and compositions as per standard. Samples originated from the "black plate" provided by the customer, had a superior performance than the others.*

Keywords: *manufacturing processes; mechanical engineering; tensile test; stamping.*

1. INTRODUÇÃO

Estampagem, dobramento e forjamento são exemplos de processos de fabricação que se baseiam na aplicação de uma força para deformar plasticamente o material, dando à matéria prima a forma desejada. Esses processos são denominados processos de conformação mecânica, e são largamente aplicados nas indústrias, diversas peças, desde talheres até carrocerias de carros são fabricados através da deformação plástica. Uma vantagem desses processos é a possibilidade de se atingir a geometria final do produto em única etapa, sem a necessidade de utilizar outro processo. Outra vantagem é o menor volume de perda de material, quando comparado com processos convencionais de usinagem.

Contudo, apesar da utilização em larga escala dos processos de conformação mecânica, diversos problemas são relatados na literatura acerca do tema. Tavares e colaboradores relataram casos de falhas durante o processo de dobramento de uma haste de aço devido à ausência de tratamento térmico preliminar adequado, o que reduzia a ductilidade do material (Tavares, et al, 2019). Os processos de conformação mecânica acarretam grandes deformações plásticas, gerando alta densidade de discordâncias, e, portanto, altos níveis de tensões residuais, modificando o comportamento do material (Callister, 2007). Kumbhar relata falhas durante o processo de estampagem de chapas em

que operadores não sabiam qual carga o estampo deveria aplicar para que a conformação fosse feita corretamente, causando perdas de matéria-prima no processo de calibração das máquinas pois a pressão se mostrou parâmetro determinante para a conformidade do estampado, a solução proposta foi análise prévia do material juntamente com modelagem numérica do processo para evitar tanto desperdício (Kumbhar, 2018).

Para evitar falhas como as que foram mencionadas, um projeto de conformação mecânica deve compreender o comportamento do material na região plástica, e adequar os parâmetros de fabricação às propriedades mecânicas da matéria prima utilizada.

Aços de baixo carbono possuem excelente ductilidade tornando-os fortes candidatos a serem utilizados em processos de conformação mecânica, onde grandes deformações plásticas são requeridas. Ademais, quando com outros materiais, tais como polímeros e ou mesmo outros materiais metálicos, possuem adequada resistência mecânica para diversas aplicações e baixo custo (Askeland, 2011). Devido a essas características esses aços são empregados, em construções de plataformas, coberturas, galpões, escadas e estruturas metálicas diversas, tanto pela área de projeto mecânico quanto pela engenharia civil por conta do uso de formas estruturais em vigas H, Vigas I, cantoneiras, tubulações e outros (ABNT, 2015).

Na fabricação de caçambas metálicas, são utilizados aços de baixo carbono. Neste trabalho foram analisadas três amostras de diferentes chapas de aços de baixo carbono, com o objetivo de determinar a melhor matéria prima para ser utilizada na fabricação de caçambas para carrinhos de mão, muito usados em sítios de construção civil. Em adicional, uma amostra de um carrinho de mão já conformado foi analisada como referência. Como cada uma das chapas advém de um fabricante diferente, isto é, sofrem diferentes laminações, é esperado que alguma chapa tenha propriedades mecânicas que sejam mais propícias do que outras para o processo de estampagem. Na empresa em que as caçambas são fabricadas, houveram diversos problemas no estampo.

O fabricante das caçambas percebeu que algumas chapas não conformaram de maneira ideal ocorrendo o rompimento da matéria durante o processo conforme evidenciado na Fig 1. O processo de estampagem requer alta deformabilidade plástica do material, com o objetivo de que o formato da matriz seja adquirido pela chapa. Para uso otimizado deste processo, vários fatores devem ser considerados quando se trata da capacidade do material ser conformado perfeitamente, e devido ao grande número de variáveis relacionadas ao processo não existe parâmetro único capaz de determinar a estampabilidade. Materiais que apresentam pobres propriedades mecânicas estão sujeitos a falhas por fratura ou enrugamento.

Durante a conformação mecânica diversos tipos de falhas podem ocorrer por razões igualmente distintas, a matriz pode não estar adequada ao uso para o material em questão, o material não está conforme as propriedades exigidas por norma, a laminação pela qual a chapa passou pode ter alterado as propriedades através do encruamento. Logo, cada fabricante de chapa entrega propriedades diferentes o que pode provocar falhas diferentes para o mesmo material.

A fim de determinar as propriedades mecânicas de cada chapa, e por consequência, a melhor a ser utilizada no processo de fabricação dos carrinhos de mão, foram feitos: Ensaio de Tração em amostras de chapas diferentes, conforme NBR ISO 6892 (ABNT, 2013) e Ensaio Metalográfico para a amostra extraída de uma caçamba fabricada em outra empresa.



Figura 1. Caçambas conformadas após a realização do processo de estampagem

2. METODOLOGIA

2.1 Ensaio de Tração

Foram separadas 03 amostras em formas de tiras de 200 mm x 50 mm de cada uma das 04 chapas usadas nesse processo de estampagem, como permitido pelo anexo A da norma NBR ISO 6892 elas não foram usinadas. As amostras CG043, CG053 e CP são de chapas candidatas a serem utilizadas no processo de fabricação dos carrinhos, já a amostra C foi retirada de um carrinho produzido em outra empresa. A tabela 1 especifica as amostras conforme dados fornecidos pela empresa.

Tabela 1. Amostras e especificações

| AMOSTRA | ESPECIFICAÇÃO |
|---------|---|
| CG043 | Amostra de chapa galvanizada 0,43 mm de espessura |
| CG053 | Amostra de chapa galvanizada 0,53 mm |
| CP | Amostra de chapa preta |
| C | Amostra extraída de caçamba conformada |

As 12 amostras foram submetidas ao ensaio em uma máquina de ensaio universal, fabricante SHIJIN, modelo WDW-100E. O ensaio de tração consiste em submeter um corpo de prova a carregamentos uniaxiais que tendem a esticá-lo até a ruptura (Souza, 1982). Durante o ensaio é possível determinar a variação da deformação em função da tensão. A tensão é determinada a partir da Eq. 1, em que Q é a carga aplicada e S_0 a seção da área transversal inicial do corpo de prova. Uma vez que a tensão é aplicada no corpo de prova, ocorre a deformação descrita pela Eq. 2, em que L é o comprimento final e L_0 remete-se ao comprimento inicial, que pode ser multiplicado por 100 a fim de permitir a interpretação do alongamento em termos de porcentagem.

$$\sigma = \frac{Q}{S_0} \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \quad (2)$$

O regime elástico do ensaio de tração é regido pela Eq. 3 que caracteriza o módulo de elasticidade E . O módulo de elasticidade é uma grandeza que evidencia a carga σ aplicada para deformar ε , está diretamente ligado à rigidez do material. Durante esse regime o material deformado pode retornar ao estado inicial uma vez que a tensão seja removida. A Fig. 2 mostra graficamente o regime elástico e plástico demarcados pelo limite de escoamento do material, uma vez que o limite de escoamento é ultrapassado o material passa a se comportar de maneira plástica, em outras palavras quando a força é retirada o corpo permanece deformado possibilitando conformações mecânicas.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

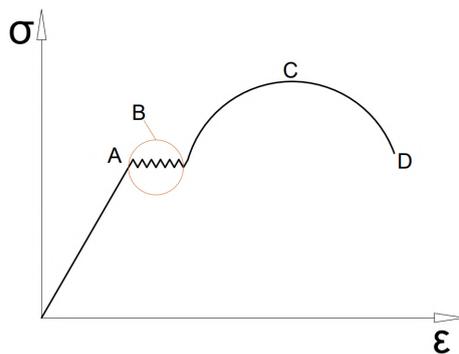


Figura 2. A) limite de escoamento; B) Região de Escoamento; C) Limite de resistência; D) Limite de Ruptura

Através do ensaio de tração será possível determinar o quão dúctil um material é, e quanta energia deve ser aplicada para deformá-lo. Em outras palavras, pode-se determinar as propriedades mecânicas e dessa forma selecionar a melhor chapa para o processo de estampagem.

2.2 Ensaio Metalográfico

O ensaio metalográfico foi executado por microscopia ótica (MO) e microscopia eletrônica de varredura (MEV) com sistema de espectroscopia de raios X por dispersão em energia (EDS). A amostra analisada foi a seção transversal da amostra C, uma vez que advém de uma caçamba deformada perfeitamente servirá como referência no processo de especificação do material.

As imagens de MO foram realizadas por meio do microscópio ótico modelo M2m da Zeiss, e as imagens de MEV em um equipamento modelo TM3000 da Hitachi. O corpo de prova foi preparado seguindo rotina de preparo de corpo de prova tradicional para ensaios metalográficos, tais como o corte da seção transversal da chapa, embutimento em baquelite e ataque químico com solução de ácido nítrico e álcool (Nital 5%).

3. RESULTADOS

3.1 Resultados do Ensaio de Tração

A Tabela 2 apresenta os resultados do ensaio de tração, sendo evidenciadas as propriedades de limite de escoamento, limite de resistência e alongamento. A Figura 3 apresenta os gráficos tensão x deformação convencionais obtidos nos ensaios de tração das quatro amostras analisadas. As propriedades das três chapas analisadas para serem utilizadas na fabricação dos carrinhos (CG043, CG053 e CP) estão dentro da faixa esperada para um aço de baixo carbono sem elementos de liga (ASM, 1990). Contudo, as mesmas apresentaram variações entre si, uma explicação plausível para essa constatação é de que o processo de laminação específico de cada fornecedor modifica o comportamento geral do aço enquanto chapa. Uma vez que o material passa pelo processo de laminação não há conservação das propriedades mecânicas do laminado para a chapa devido ao encruamento dos grãos aumentar a dureza do aço (Whang, 2011). Dessa forma, evidencia-se que a composição química não é suficiente para determinar as propriedades mecânicas.

A amostras C foram retiradas de um carrinho de mão já fabricado, portanto já haviam sido conformadas mecanicamente. Provocando mudanças em suas propriedades mecânicas, isto é, a capacidade de absorver energia do aço foi modificada devido ao encruamento dos grãos que ocorreu durante a fabricação do carrinho. Desta forma, observa-se na Tabela 2 e na Fig. 2d que a amostra C possui o limite de escoamento igual ao limite de resistência, isso ocorre pois durante a fabricação do carrinho, o material já havia sido levado ao seu limite de deformação plástica.

Tabela 2. Resultados das amostras ensaiadas

| Amostras | σ_e [MPa] | σ_r [MPa] | A [%] em 100 mm |
|----------|------------------|------------------|-----------------|
| CG043 | 276,8 | 347,8 | 24,3 |
| CG053 | 277,1 | 343,5 | 28,7 |
| CP | 212,5 | 315,3 | 35,3 |
| C | 328,9 | 328,9 | 14,0 |

Os itens a,b, e c da figura 3 evidenciam a diferença da tenacidade entre as amostras analisadas, diferença essa determinada por diversos fatores envolvendo os processos de laminação de matéria-prima. Já o item d, como se trata da amostra extraída de carrinho, não apresenta endurecimento após atingido o limite de escoamento pois os grãos foram previamente encruados.

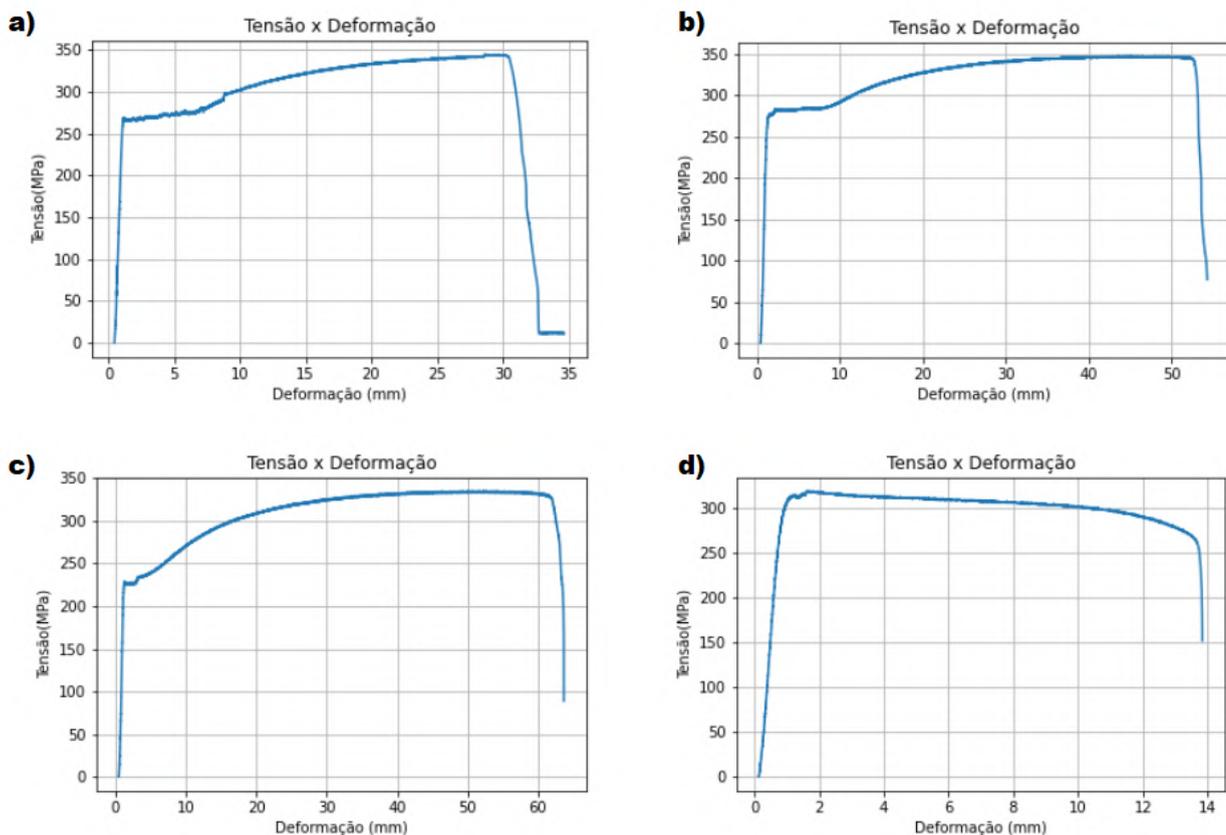


Figura 3. Curva Tensão x Deformação: (a) CG043; (b) CG053; (c) CP; (d) C

3.2 Resultado do Ensaio Metalográfico

Não foram observadas não conformidades no núcleo da chapa conforme ilustra figura 4. Já na superfície é possível observar a presença de um revestimento com espessura de 10 μm na amostra C. Através de análise do espectro de EDS do núcleo da chapa foi constatado que o material se trata um aço baixo carbono, sem elementos de liga, conforme é possível observar na figura 4c. A análise do revestimento foi feita através do mapa de EDS da superfície, Figura 4d, provando ser um comum revestimento de zinco.

Chapas de aço são usualmente revestidas por camadas de zinco pelo processo conhecido como galvanização com a finalidade de evitar a corrosão do material. Na Figura 10, o núcleo da chapa, em aço carbono, é indicada pela cor roxa, enquanto a camada de revestimento de zinco pela coloração vermelha.

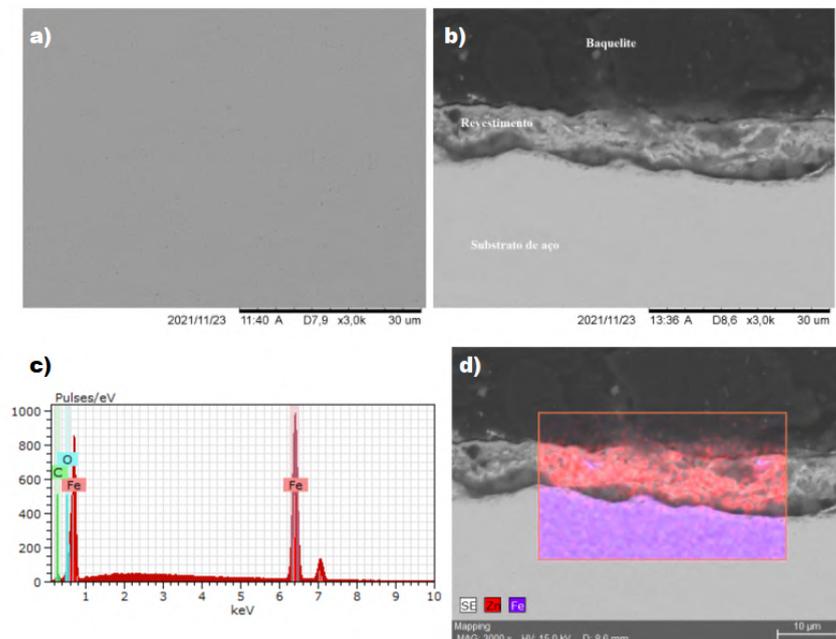


Figura 4. Resultados de MEV-EDS. (a) Núcleo da chapa; (b) Superfície da chapa; (a) e (b) imagens em modo BSE sem ataque químico; (c) Espectro de EDS do núcleo da chapa; (d) Mapa de EDS da superfície da chapa mostrando uma camada de Zn

A microestrutura apresentada pelo aço está condizente com a esperada de um aço com baixo teor de carbono, de grãos pequenos com tamanho entre VII e VIII segundo ASTM E112 (ASTM, 2004). É possível também observar pontos escuros, se tratando de inclusões em pequenas quantidades não são fatores capazes de diminuir o desempenho mecânico do material.

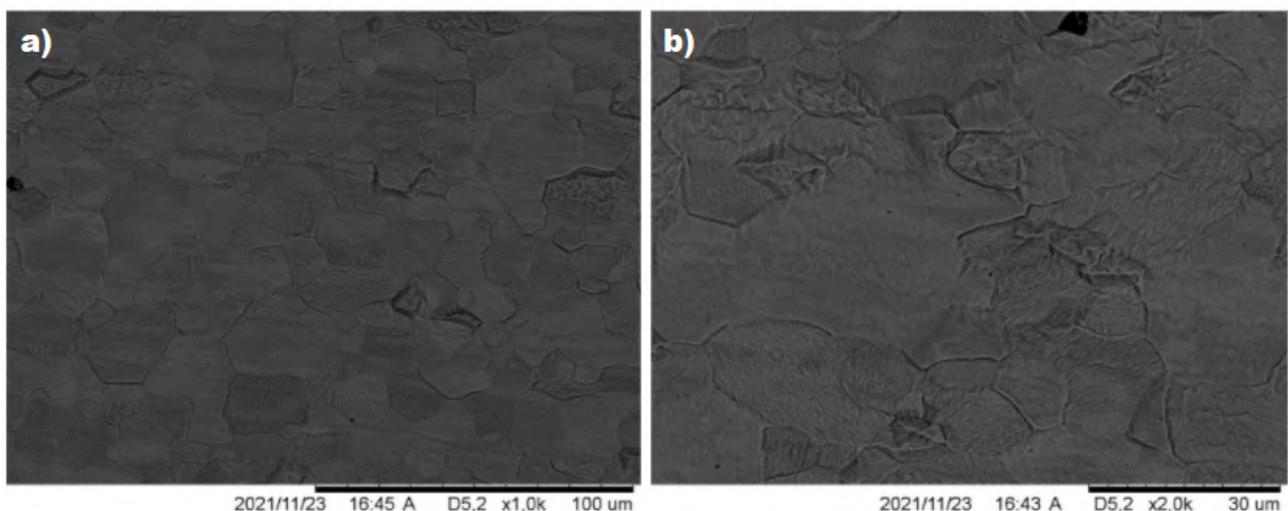


Figura 5. Núcleo da chapa; MEV – ataque químico com Nital 5%

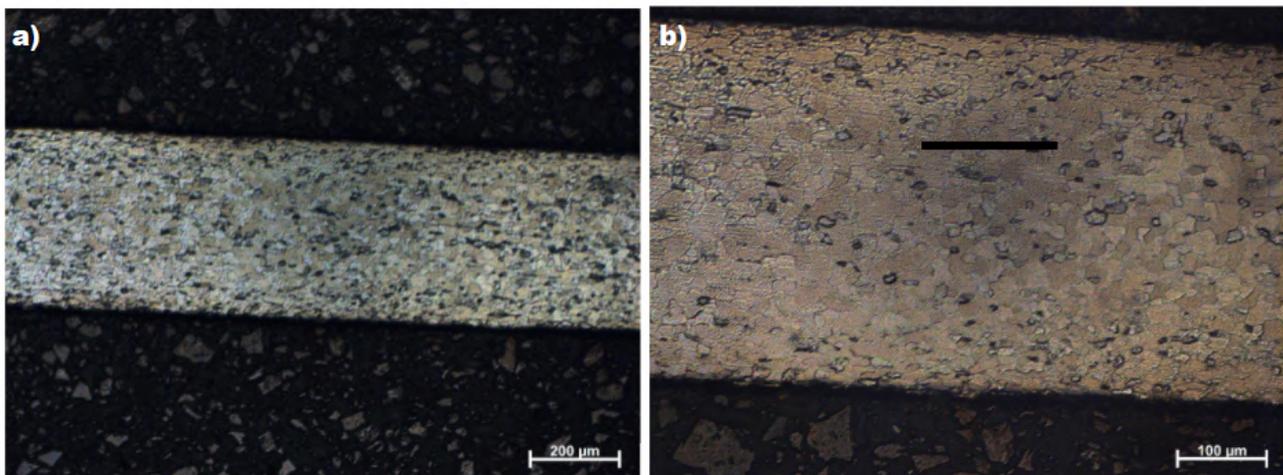


Figura 6. Seção Transversal – MO ataque químico com Nital 3%. a) ampliação: 100X; b) ampliação: 200X

4. CONCLUSÕES

O papel da laminação do material se mostrou fundamental em termos de desempenho mecânico para fins de estampagem de chapas. Foi também evidenciado que o parâmetro estampabilidade é difícil de se definir por conta de suas variáveis complexas, variáveis essas que advêm tanto da matéria prima quanto do processo de laminação utilizado.

Os resultados do ensaio de tração condizem com o esperado para aços com baixo teor de carbono, sendo a amostra CP a melhor para o fim mencionado. Por ela ter apresentado maior zona de deformação plástica, evidenciou-se mais dúctil que as demais. E uma vez que o limite de resistência encontrada para essa amostra foi o menor, a energia demandada pela máquina para deformar o material é menor em relação às outras amostras. Sendo esta amostra a mais adequada para o processo de estampagem.

Na análise metalográfica foi possível perceber que a amostra CP é um aço de baixo de carbono. A fim de otimizar o a chapa faz-se necessário a revestimento da superfície por zinco, através do processo de galvanização para aumentar a resistência da chapa à corrosão e dessa forma tornar propício a confecção de caçambas com propriedades otimizadas.

5. REFERÊNCIAS

- ABNT, 2013. *NBR ISO 6892: Materiais metálicos - Ensaio de tração à temperatura ambiente*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT, 2015. *NBR 9050: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- Askeland, D.R., Fulay, P.P. e Wright, W.J., 2011. *The science and engineering of materials*. Cengage Learning, Stamford, 6ª edição.
- ASM, 1990. *ASM handbook: vol. 1 properties and selection: irons, steels, and high performance alloys*. ASM International, Ohio.
- ASTM, 2004. *E112 Standard Test Methods for Determining Average Grain Size*, ASTM International, Ohio.
- Callister, W.D., 2007. *Materials science and engineering: an introduction*. John Wiley & Sons, New York, 7ª edição.
- Kumbhar, S.V., 2018. "Pressure optimization and failure prediction for deep drawing process of sheet metal products: A case study". *Journal of Failure Analysis and Prevention*, Vol. 18, p. 948–956.
- Souza, S.A., 1982. *Ensaio mecânicos de materiais metálicos: Fundamentos teóricos e práticos*. Edgard Blücher, São Paulo, 5ª edição.
- Tavares, S.S.M., Pardal, J.M., Landim, R.V., Barbosa, C., dos Santos, F.C.S.C. e Pimenta, A.R., 2019. "Failure during fabrication of clamps of Mn-alloyed steel for springs in heavy vehicles". *Engineering Failure Analysis*, Vol. 109, p. 104244.
- Whang, S.H., 2011. *Nanostructured metals and alloys: Processing, microstructure, mechanical properties and applications*. Whoodhead Publishing, Philadelphia, 1ª edição.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.