**CARACTERIZAÇÃO DE UM MATERIAL METÁLICO SEM ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO FABRICANTE,
ATRAVÉS DE ENSAIOS MECÂNICOS E ANÁLISE METALOGRÁFICA**

Antonio Cardoso Ferreira ⁽¹⁾ (cardosomet@hotmail.com), Fabrício Oliveira da Silva ⁽²⁾ (academicofabricio@gmail.com), Janice Gomes da Silva ⁽³⁾ (janice.gs@hotmail.com), Sílvio Leonardo Valença ⁽⁴⁾ (silviovalenca@bol.com.br), Cochiran Pereira dos Santos ⁽⁵⁾ (cochiran@hotmail.com)

⁽¹⁾ Estácio Sergipe; Engenharia Mecânica

⁽²⁾ Estácio Sergipe; Engenharia Mecânica

⁽³⁾ Universidade Tiradentes, Engenharia de Produção

⁽⁴⁾ Estácio Sergipe; Engenharia Mecânica

⁽⁵⁾ Estácio Sergipe; Engenharia Mecânica

RESUMO: *Ensaio de tração consiste em submeter o corpo de prova a um esforço que tende a alongá-lo até a ruptura, o ensaio de dureza consiste em uma impressão pequena na superfície da peça, a análise química determina propriedades do aço, já a análise metalográfica é realizada através de microscópios para determinar a morfologia e estrutura do metal. O trator agrícola é a fonte de potência, contribui para o desenvolvimento dos sistemas agrícolas de produção. A escolha da região do Alto Sertão Sergipano, foi direta, devido ao aumento da economia, aliada a presença de tratores agrícolas e devido ao aumento das manutenções nas hastes dos clindros de direção. Este estudo tem como objetivo à caracterização de um material metálico sem especificações técnicas do fabricante, através de ensaios mecânicos e análise metalográfica. Para realizar este estudo, junto ao Concessionário Pemagri, seguiu-se a norma ASTM E8M, foram utilizados cinco corpos de prova, três seções de tarugo da haste do cilindro de direção, máquina de ensaios de tração, microdurômetro, microscópio, espectrômetro. Após a realização dos ensaios e análise metalográfica conclui-se que o aço de fabricação da haste é o AISI 1050.*

PALAVRAS-CHAVE: *Corpos de prova, Ensaio de tração, Hastes, Tratores agrícolas.*

**CHARACTERIZATION OF A METAL MATERIAL WITHOUT TECHNICAL SPECIFICATIONS OF THE
MANUFACTURER, THROUGH MECHANICAL TESTS AND METALLOGRAPHIC ANALYSIS**

ABSTRACT: *Tensile testing consists of subjecting the specimen to an effort that tends to elongate it until rupture, the hardness test consists of a small print on the surface of the part, the chemical analysis determines properties of the steel, while the metallographic analysis is performed through microscopes to determine the morphology and structure of the metal. The agricultural tractor is the power source, contributes to the development of agricultural production systems. The choice of the Sergipano High Sertão region was direct, due to the increase of the economy, allied to the presence of agricultural tractors and due to the increase of the maintenance on the stems of the steering wheels. This study aims to characterize a metallic material without technical specifications of the manufacturer, through mechanical tests and metallographic analysis. In order to carry out this study, the ASTM E8M standard was followed by five test specimens, three sections of the steering cylinder rod, tensile testing machine, microdurometer, microscope and spectrometer. After the tests and metallographic analysis, it is concluded that the steel making rod is AISI 1050.*

KEYWORDS: *Test specimens, Tensile test, Rods, Agricultural tractors.*

1. INTRODUÇÃO

Diante da necessidade do homem de buscar explicações para muitas das questões técnicas que este enfrentava ao longo do seu crescimento, foram criadas máquinas e operações de testes materiais, dentre eles o ensaio de tração e o ensaio de dureza.

Ensaio mecânicos são importantes para determinar as propriedades mecânicas dos materiais em condições de trabalho. Dentre as principais solicitações mecânicas para processos de fabricação, encontram-se a tração e dureza.

Atualmente a economia da região do Alto Sertão Sergipano, baseia-se no setor de pecuária e na agricultura, com destaque para o cultivo do milho, abrange uma área de 4.908,20 km² e está dividida em sete municípios: Canindé de São Francisco, Gararu, Monte Alegre de Sergipe, Nossa Senhora da Glória, Nossa Senhora de Lourdes, Poço Redondo e Porto da Folha, os quais representam a economia da região. A principal ferramenta que alavanca a economia da região é o trator agrícola, pois é possível realizar todo o preparo do solo, platío, aplicação de defensivos e colheita.

O trator agrícola é o principal meio de potência mais importante do meio rural, que contribui para o desenvolvimento e avanço tecnológico dos sistemas agrícolas de produção de alimentos, além de ser utilizada para tracionar, transportar e transferir potências para outros implementos agrícolas, como também de ser um veículo complexo, composto de vários sistemas, tais como: sistema hidráulico, sistema de direção e freios, transmissão, motor e parte elétrica. Torna-se necessário a manutenção preventiva desse tipo de máquina, por envolver uma série de mecanismos e pelo seu uso constante. As falhas operacionais e de manutenção, são constantes na atividade agrícola, quando nos referimos ao trator.

Nos últimos anos o que tem chamado atenção, são falhas decorrentes do mau uso, falha operacional ou de manutenção desse tipo de máquina, no componente da haste do cilindro de direção, componente esse que faz parte do sistema de direção.

A escolha da região pesquisada foi realizada de forma direta, por conta do aumento da economia, aliada a grande presença de tratores agrícolas e devido ao enorme histórico de manutenções, ou seja, substituição do componente após fratura desse componente, ou seja, nas hastes dos cilindros de direção dos tratores agrícolas.

Todo projeto de um componente mecânico, ou qualquer projeto de engenharia, requer para sua viabilização, conhecimento das características, propriedades e comportamento dos materiais disponíveis. O estudo da resistência dos materiais, através de corpos de prova, utilizando ensaio mecânico, será objeto de estudo por se tratar de um material comumente utilizado na fabricação

das hastes dos cilindros de direção de diversas marcas de tratores agrícolas, onde serão demonstradas as suas características e propriedades mecânicas através de gráficos, além de analisar os resultados obtidos após os procedimentos dos ensaios de tração e de dureza.

Os critérios de especificação ou escolha de materiais, impõem para a realização dos ensaios, métodos normalizados que objetivam levantar as propriedades mecânicas e seu comportamento sob determinadas condições de esforços solicitantes. Esta normalização é fundamental para que se estabeleça uma linguagem comum entre fornecedores e usuários dos materiais, já que é prática comum a realização de ensaios de recebimento dos materiais encomendados, a partir de uma amostragem estatística representativa do quantitativo recebido.

Diante da necessidade de se buscar explicações para muitas questões técnicas e fabricações de novos componentes, que acontece ao longo do seu crescimento industrial, foram criadas máquinas e operações de testes, dentre eles o teste de tração e de dureza, utilizadas nos dias de hoje para auxiliar nesse processo de fabricação definindo através destes testes, propriedades dos materiais.

O trator agrícola é uma fonte de potência importante do meio rural, contribuindo para o desenvolvimento e avanço tecnológico dos sistemas agrícolas de produção de alimentos e também de fontes alternativas de energias renováveis. São projetados para tracionar, transportar e fornecer potência para máquinas e implementos agrícolas, também por ser definido como um veículo complexo, empregado para impelir ou fornecer força estacionária para uma larga variedade de implementos agrícolas.

Segundo Kumar (2012), o trator agrícola é elemento essencial para elevar a produtividade agrícola. O trator, como qualquer máquina, necessita de ajustes para realizar determinada operação com qualidade e eficiência. Diversos fatores interferem no desempenho de um trator agrícola como, por exemplo, o tipo de pneu utilizado, a quantidade de lastro, a pressão interna dos pneus, as condições da superfície trafegada, a transferência de peso, dentre outros.

Existem diversas marcas e modelos de tratores agrícolas no mercado, desde os microtratores com potência em torno de 10 cv, até tratores de grande porte com potências acima de 500 cv.

Para Kathirvel et al. (2012), a eficiência de um trator agrícola está relacionada com a habilidade de fornecer energia mecânica para uma série de equipamentos e desempenhar operações inerentes ao processo produtivo. Com isso surgem vários tipos de manutenção. A manutenção preventiva reduz o custo operacional com as máquinas e evita que suas atividades no campo, tais como, preparo de solo, plantio, pulverização e colheita, sejam prejudicados. Os principais benefícios pela realização da manutenção são: redução do número de falhas mecânicas, a

garantia de que o equipamento atingirá a vida útil para a qual foi projetado e o maior valor residual do equipamento usado no momento da substituição do trator.

Nos tratores existem várias funções hidráulicas, uma delas fica no sistema de direção, onde encontra-se a haste no cilindro da direção, responsável pelo movimento suave no momento em que se gira a direção (volante). Segue abaixo Figura 1 – Tratores agrícolas.

Figura 1 – Tratores agrícolas

Fonte: John Deere (2018)

A função básica de um cilindro hidráulico é transformar força, potência ou energia hidráulica em força, potência ou energia mecânica. Com isso, já é possível imaginar a grande utilidade desse mecanismo na indústria. O cilindro hidráulico, também conhecido como motor hidráulico linear, integra diferentes equipamentos, em especial, sistemas de articulação de máquinas. Nele, fica inserido o pistão, sendo que o seu movimento é determinado conforme a entrada e saída de óleo no cilindro.

O óleo é o fluido hidráulico que é pressurizado, ou seja, recebe pressão por um conjunto bomba-motor elétrico. Em outros termos, o tubo fica fixado e a haste se desloca para fora e para dentro, conforme acionada pelo comando. O cilindro hidráulico é formado por diferentes partes, entre elas, está a haste, guia da haste, vedação da haste, êmbolo, vedação do êmbolo, anel raspador, flange dianteiro, conexão, cilindro, câmara da haste e câmara do êmbolo. A Figura 2 abaixo ilustra a haste do cilindro de direção do trator agrícola, a ser estudada nesse projeto, bem como sua aplicação.

Figura 2 – Haste do cilindro de direção

Fonte: Própria (2018)

Para Bertoldi (2016) ensaios mecânicos são procedimentos que compreendem testes, cálculos, gráficos e consultas em tabelas, em conformidade com normas técnicas. Realizar um ensaio mecânico Consiste em submeter um componente ou objeto fabricado ou um material que será processado a situações onde simulam-se esforços nos quais este objeto iria sofrer nas condições reais de uso, chegando a limites extremos de solicitação. Dentre este, temos o ensaio de tração e de dureza, que são objetos de estudo.

Callister (2016) diz que as principais propriedades mecânicas dos materiais são obtidas pelo ensaio de tração, onde os corpos de prova são alongados por uma força de tração uniaxial, até a ruptura do material, nas quais são medidas a tensão e a deformação correspondente.

A uniformidade da deformação permite ainda obter medições precisas da variação dessa deformação em função da força aplicada. Essa variação é de extrema importância para o engenheiro, que por meio de pontos ou de uma reta dada pela máquina determina a curva tensão versus deformação do material. O ensaio de tração consiste na aplicação de uma carga de tração uniaxial em um corpo de prova, geralmente padronizado, onde se pode afirmar que as deformações são uniformemente distribuídas ao longo de todo um corpo de prova específico até a ruptura.

Porém, ao se alcançar o ponto de tensão máxima suportada pelo material, a uniformidade na deformação termina devido ao aparecimento do fenômeno de estricção, ou diminuição da seção do corpo de prova, para metais com certa ductilidade. A ruptura se dá na faixa estreita do material, menos que defeitos internos promovam a ruptura em algum ponto fora dessa região, o que é de rara ocorrência.

De acordo com ensaio de tração é importante que se repita o mesmo ensaio em pelo menos dois corpos de prova idênticos, para que por comparação dos valores obtidos possa-se garantir a

resposta do equipamento, para obter maior precisão nos resultados. O corpo de prova é fixado por meio de garras numa máquina de ensaios que aplica esforços crescentes na sua direção axial, sendo medidas as variações. Segue abaixo Figura 3, ilustrando o corpo de prova padrão.

Figura 3 – Corpo de prova

Fonte: CALLISTER (2016)

Segundo Callister (2016), durante os ensaios, a deformação do corpo de prova fica confinada à região central, que é mais estreita e possui uma seção reta uniforme ao longo do seu comprimento, conforme observado na Figura 4.

Figura 4 – Máquina para ensaios de tração

Fonte: BERTOLDI (2016).

A Figura 5 apresenta o comportamento da curva tensão x deformação de engenharia até a fratura. O limite de resistência à tração (LRT) encontra-se no ponto máximo da tensão e os detalhes circulos representam à deformação elástica, a deformação plástica uniforme, a estricção e a fratura que é o momento de rompimento do material.

Figura 5 – Curva Tensão x Deformação

Fonte: BERTOLDI (2016)

A Figura 6 mostra o comportamento real do corpo de prova durante o ensaio de tração, bem como suas propriedades mecânicas, desde a deformação elástica até a fratura.

Figura 6 – Comportamento do corpo de prova

Fonte: ASTM E8 / E8M-16a (2016)

Na Figura 7 pode-se observar o comportamento das propriedades mecânicas no gráfico tensão x deformação de um material ensaiado. É um exemplo de um gráfico obtido em um ensaio de tração de um material com comportamento dúctil.

Figura 7 – Propriedades mecânicas

Fonte: HIBBELER (2010).

A dureza de um material consiste em uma medida da resistência de material a uma deformação plástica localizada. Os ensaios de dureza são realizados com frequência, pois são baratos e simples, onde o corpo de prova não é fraturado e não sofre deformação a ponto de inutilizar o componente ensaiado, além de permitir determinar outras propriedades do material.

O ensaio de dureza Vickers, simbolizada por *HV*, também emprega o princípio de penetração. O método é baseado no princípio de que as impressões provocadas pelo penetrador possuem similaridade geométrica, independentemente da carga aplicada. Por isso, possuem cargas de diversas magnitudes e são aplicadas na superfície plana da amostra, dependendo da dureza a ser medida. O Número Vickers (*HV*) é então determinado pela razão entre a carga e a área superficial da impressão, sendo o penetrador de formato piramidal.

As impressões são extremamente pequenas, na maioria dos casos, não inutilizam as peças, mesmo as acabadas. O penetrador, por ser de diamante é praticamente indeformável. Este ensaio aplica-se a materiais de qualquer espessura, e pode também ser usado para medir durezas superficiais. A figura 10 mostra a impressão deixada após o ensaio Vickers.

Figura 10 – Passo a passo do ensaio de dureza Vickers

Fonte: GARCIA (2014)

A Figura 11 ilustra as diversas formas de indentações, com seus respectivos ensaios de dureza.

Figura 11 – Forma da Indentação

Ensaio	Indentador	Vista Lateral	Vista Superior	Carga
Brinell	Esfera de aço ou carbeto de tungstênio com 10 mm			P
Microdureza Vickers	Pirâmide de diamante			P
Microdureza Knoop	Pirâmide de diamante			P
Rockwell e Rockwell Superficial	{ Cone de diamante; esferas de aço com diâmetros de $\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ in }			{ 60 kg 100 kg 150 kg } Rockwell { 15 kg 30 kg 45 kg } Rockwell superficial

Fonte: Callister (2015)

A revelação dos constituintes internos é de fundamental importância porque eles irão influenciar diretamente nas propriedades mecânicas dos aços como: o limite de resistência ao escoamento, ductilidade, tenacidade, elasticidade e plasticidade. Conhecer como o aço se comporta na temperatura ambiente é fundamental para que possamos saber dentre os tipos quais são frágeis, quais são dúcteis, quais devemos utilizar a alta temperatura ou a baixa temperatura e sobre tudo podemos informar ao usuário, até que temperatura a liga pode ser utilizada sem mudar a sua estrutura interna, pois quando mudamos a estrutura interna dos materiais alteramos as suas propriedades mecânicas e consequentemente o seu desempenho.

Além disso, é interessante ressaltar a análise da microestrutura do material é obtida através da metalografia, onde é possível identificar o tipo de tratamento térmico mais adequado para o tipo de solicitação mecânica. O conhecimento dos tratamentos térmicos envolvidos num processo de fabricação nos quais as ligas foram submetidas, é essencial para melhorar o desempenho do componente e reduzir riscos de falhas que ocorrem em determinadas estruturas e consequentemente ter noções sobre a qualidade técnica do produto.

Callister (2012) ressalta que “os engenheiros de materiais e metalúrgicos, por outro lado, estão preocupados com a produção e fabricação de materiais para atender às exigências em serviço previstas por essas análises de tensões.

Ainda segundo Callister (2012) estas análises de tensão “envolve necessariamente o entendimento das relações entre a microestrutura (isto é, as características internas) dos materiais e suas propriedades mecânicas”.

Com o intuito de entender sobre o papel desta microestrutura ressaltada por Callister, a metalografia, hoje, é muito utilizada nos grandes laboratórios, pois, é uma técnica que ajuda a resolver muitos problemas que antes eram de difícil solução, esta técnica contribui para que a indústria possa prever se o seu equipamento irá funcionar com segurança além de dar garantias aos profissionais que o equipamento projetado estar adequado.

Em síntese, pode-se dizer que a metalografia fornece dados como a peça foi feita, o tratamento térmico utilizado assim como a natureza do material empregado.

As propriedades mecânicas podem ser necessárias para o projeto de estruturas/componentes materiais predeterminados, a fim de que, não ocorram níveis inaceitáveis de deformação ou falhas.

De maneira geral, todos os materiais, quando em serviço, estão sujeitos a esforços, portanto, em tais situações, torna-se necessário conhecer as características do material e projetar o membro a partir do qual ele é feito, de tal maneira que qualquer deformação resultante não seja excessiva e não ocorra fratura.

O comportamento mecânico de um material reflete a relação entre sua resposta ou deformação a uma carga ou força que esteja sendo aplicada.

As propriedades mecânicas dos materiais são verificadas através de experimentos cuidadosamente programados, que reproduzem o mais fielmente possível as condições de serviço. Dentre os fatores a serem considerados, incluem-se a natureza da carga aplicada e a duração da sua aplicação, bem como as condições ambientais. Tais cargas podem ser de tração, compressiva, ou de cisalhamento, e a sua magnitude pode ser constante ou não ao longo do tempo, pode ocorrer oscilações.

Este estudo tem como objetivo a caracterização do material metálico da haste do cilindro de direção utilizada nos tratores agrícolas, sem especificações técnicas do fabricante, através de ensaios mecânicos e análise metalográfica. Busca-se com isso, reduzir o custo final de manutenção para o cliente, através de sua confecção, após caracterização e viabilidade do material, uma vez que

as hastes comercializadas nos concessionários possuem custos finais elevados e por sua vez, repassados para o cliente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A coleta desses dados deu-se através dos inúmeros casos de fratura das hastes dos cilindros de direção, em função de falhas operacionais e de manutenção dos tratores agrícolas e com o excesso de manutenção desse componente, no que diz respeito a substituição ou reparação. Devido a esse elevado custo, surgiu a necessidade de confecção de hastes, porém não se sabia qual seria o material ideal, que suportasse a mesma carga que a anterior e que tivesse um baixo custo. Em parceria com a Concessionária Pemagri, realizou a coleta do material da haste do cilindro, com a finalidade de caracterização desse material. Entre os anos de 2016 e 2017, houve 35 casos de fraturas dessas hastes, elevando o custo de manutenção, com esse estudo espera-se a redução do custo final para seus clientes.

Para a realização deste estudo de caracterização de um material metálico sem especificações técnicas do fabricante, através de ensaios mecânicos, junto ao Concessionário Pemagri, seguiram-se as instruções da norma ASTM E8M (*Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*), ou seja, Métodos de Teste Padrão para Testes de Tensão de Materiais Metálicos, onde utilizou-se um torno mecânico ROMI, para confecção dos corpos de prova, conforme a Figura 12. Foram utilizados cinco corpos de prova e três seções de tarugo, de matéria prima para fabricação da haste do cilindro de direção dos tratores agrícolas, como mostra a Figura 13, máquina de ensaios de tração universal (MTS 370,10 *Landmark* 100kN), de acordo com a Figura 14, microdurômetro de acordo com a Figura 15, espectrômetro de emissão ótica Figura 16, microscópio Figura 17, computador conectado a máquina de ensaios para a geração dos gráficos e estudos de suas propriedades e variáveis.

O ensaio de tração foi conduzido seguindo as instruções da norma ASTM E8M. O ensaio foi realizado na máquina universal (MTS 370.10 *Landmark* 100kN), como ilustrado na Figura 13. Foi utilizada a base de medida de 24 mm e o diâmetro de 6,05 mm para as amostras.

A tensão de escoamento foi determinada a partir da intersecção entre a curva tensão-deformação e uma reta construída paralelamente a porção elástica deslocada com pré-deformação específica de 0,002. A velocidade de teste foi de 0,5 mm/min.

Figura 12 – Torno Mecânico ROMI.

Fonte: Própria (2018).

As medições de microdureza *Vickers* foram realizadas através de 10 impressões com carga de 1 kgf em cada corpo de prova, partindo da superfície da seção do tarugo e seguindo em direção ao núcleo.

Figura 13 – Corpos de prova e seções.

Fonte: Própria, (2018)

Figura 14 – Máquina universal MTS 370.10 *Landmark* 100kN.

Fonte: Própria, (2018).

Figura 15 – Microdurômetro

Fonte: Própria, (2018).

A análise química foi realizada por espectrometria de emissão ótica, de acordo com a Figura 16, através de cinco queimas em amostra devidamente preparada e o resultado foi expresso pela média dos teores dos elementos obtidos pelas cinco queimas.

Figura 16 – Espectrômetro de emissão ótica

Fonte: Própria (2018).

Já para o ensaio de microdureza *Vickers*, utiliza-se um indentador de diamante, muito pequeno e com geometria piramidal, onde o mesmo é forçado contra a superfície do corpo de prova. As cargas aplicadas são muito pequenas variando entre 1 gf a 1000 gf. A indentação resultante é observada sob um microscópio e medida; essa medição é então convertida em um

número de dureza. Antes do ensaio as amostras foram preparadas de forma cuidadosa tais como (lixamento e polimento), para assegurar uma indentação bem definida, capaz de ser medida com precisão, segue abaixo Figura 17 - Microscópio óptico Leica DM2500M, utilizado nesse ensaio.

A análise microestrutural foi realizada em plano longitudinal à laminação da liga. A amostra metalográfica foi preparada de acordo com procedimento padrão de lixamento e polimento e foi atacada com reativo de Nital 2% (ácido nítrico 2% diluído em álcool etílico).

Figura 17 – Microscópio óptico Leica DM2500M

Fonte: Própria (2018).

3. RESULTADOS

Callister (2016), diz que a profundidade ou o tamanho da indentação resultante é medida e então relacionada com um número de dureza; quanto mais macio for o material, maior e mais profunda será a indentação, e menor será o número-índice de dureza. As durezas medidas são apenas relativas em vez de absolutas, e deve-se tomar cuidado ao comparar valores determinados por técnicas diferentes. Os ensaios de dureza são realizados com maior frequência que qualquer outro ensaio mecânico, por diversas razões: Baixo custo, por ser um ensaio não destrutivo e a frequência do resultado.

O aço de fabricação da haste do cilindro de direção dos tratores agrícolas após a realização do ensaio de tração é o AISI 1050, que corresponde a um aço-carbono-comum, na condição microestrutural normalizada. Tendo resistência à tração de 960,8 MPa, tensão de escoamento de 399,1 MPa, alongamento de 13,8% e estrição de 49,2%. Seguem abaixo a Tabela – 1, com os

resultados dos ensaios de tração e o Gráfico – 1, com a curva de tensão-deformação do corpo de prova “CP-3”.

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de tração

Corpo de Prova	Tensão de escoamento (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
1	417,6	975,8	11,5	44,7
2	384,5	964,1	13,9	44,7
3	407,0	931,4	15,7	56,3
4	410,5	974,9	15,6	48,3
5	376,0	957,7	12,1	51,8
Média	399,1	960,8	13,8	49,2
Desvio padrão	17,9	18,1	2,0	5,0

Fonte: Própria (2018).

Os resultados obtidos através dos ensaios foram comparados com dados já normalizados, como pode ser analisado no Quadro 2 abaixo.

Quadro 2 – Propriedades mecânicas do aço AISI 1050

Propriedades Mecânicas	Intervalos
Tensão de escoamento (MPa)	800 - 950
Resistência à tração MÍN (MPa)	400
Alongamento MÍN (%)	15
Estricção MÍN (%)	40
Dureza (HV)	218

Fonte: Gerdau (2013)

Gráfico 1 – Curva de tensão-deformação do corpo de prova “CP-3”.

Fonte: Própria (2018).

Após a realização dos ensaios de microdureza *Vickers*, através do microdurômetro, o valor médio encontrado foi de 218 *HV*, (desvio padrão de 4,8 *HV*). Seguem abaixo a Tabela – 2, com os resultados dos ensaios de microdureza *Vickers*.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de microdureza *Vickers*

Seções	Microdureza Vickers (HV)
1	218
2	219
3	217
Média	218
Desvio padrão	9,7

Fonte: Própria (2018).

Após a análise química realizada por espectrometria de emissão ótica, através de cinco queimas em amostra devidamente preparada, o resultado foi expresso pela média dos teores dos elementos obtidos pelas cinco queimas, como mostrado no Quadro 3 abaixo.

Quadro 3 - Composição química do aço (% em peso)

Elementos	C	Si	Mn	P	S
Amostra	0,51	0,29	0,88	0,011	0,027
AISI 1050	0,48-0,55	0,15-0,50	0,60-0,90	0 - 0,03	0 - 0,05

Fonte: Própria (2018).

A análise química relevou que a haste foi fabricada através de aço ao carbono, podendo ser classificado como aço AISI 1050.

A metalografia apresentou microestrutura constituída de ferrita pró-eutetóide (parte clara da Figura 18) e colônias de perlita (parte escura da figura 18). A microestrutura apresenta alinhamento devido a laminação da matéria prima. Poucas inclusões de sulfeto de manganês são verificadas. A figura 18 ilustra a imagem da amostra que foi submetida ao microscópio óptico (Leica DM2500M) .

Figura 18 – Aço pro-eutetóide.

Fonte: Própria (2018) .

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que através dos ensaios mecânicos, tração, microdureza *Vickers*, metalografia e análise química, tornou-se possível caracterizar o aço analisado, permitindo a comparação desse material sem especificações técnicas do fabricante em relação a um material já padronizado.

Conclui-se que tais características determinadas, são semelhantes ao aço AISI 1050, um aço com médio teor de carbono, com boas propriedades mecânicas e tenacidade.

Foi possível determinar a viabilidade econômica ou não, em relação aos custos de fabricação da haste do cilindro de direção (usinagem), com a haste já comercializada no mercado e efetuar a relação custo benefício em larga escala.

Após a caracterização do aço, foi possível a confecção da haste do cilindro hidráulico, com uma redução de 42% do custo total do componente, comercializado no mercado pelo fabricante do equipamento.

5. REFERÊNCIAS

ASTM E8 / E8M-16a, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.

BERTOLDI, E. ANÁLISE EM ENSAIOS DE TRAÇÃO EM CORPO DE PROVA DE AÇO SAE 1020, 4ª Semana Internacional de Engenharia e Economia – FAHOR, Horizontina – RS, 2016.

BOTELHO, J. M. Metodologia científica. São Paulo -SP: Pearson Education do Brasil, 2013.

CALLISTER Jr., W. D., Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução, Editora LTC, Rio de Janeiro, 9ª Ed. 2016.

CALLISTER, Willan D. 1940- Ciências e engenharia dos materiais: uma introdução. 8ª edição -Rio de janeiro: LTC, 2012.

CALLISTER Jr., W. D. e RETHWISCH, D. G., Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Abordagem integrada, LTC Editora, Rio de Janeiro, 4ª. Ed. 2015.

Ensaio de Tração, 2004, Disponível em:
<<http://www.gps.dema.fem.unicamp.br/PDF/EnsaioTracao.pdf>> UNICAMP, Campinas, Acesso em:
16 abr. 2017.

GARCIA, A. Ensaios dos Materiais. LTC, Rio de Janeiro, 1. Ed. 2014.

HIBBELER, R.C. Resistência dos Materiais, 7ª Edição, Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 2010

JOHN DEERE, Manual de vendas, Montenegro – RS, p. 15.

PRASANNA KUMAR, G. V. Development of a computer program for the path generation of tractor hitch points. Biosystems Engineering, v. 113, n. 3.

NETO, R. M. L., Ensaio de Tração. IEM - Instituto de Engenharia Mecânica, LEN - Laboratório de Ensaios Destrutivos e Não-Destrutivos, Universidade Federal de Itajubá. 2013, p. 257.

SILVA, P. R. A. Máquinas e Mecanização Agrícola, FCA – UNESP Botucatu – SP 2016, p 30.