

AVALIAÇÃO DA ALTERAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM AÇO 1045 APÓS PROCESSO DE DEFORMAÇÃO PLÁSTICA

Vanessa Moura de Souza

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Av. Bento Gonçalves, 9500. Bairro Agronomia. Porto Alegre/RS

moura.souza@ufrgs.br

Priscila Moura de Souza

IFSul – Instituto Federal Sul Rio-Grandense

Vinicius Waechter Dias

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Tomaz Fantin de Souza

IFSul – Instituto Federal Sul Rio-Grandense

Alexandre da Silva Rocha – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESUMO

O conhecimento das propriedades mecânicas é de suma importância para as questões de escolha de materiais. Em processos e projetos, determinados componentes de máquinas e estruturas metálicas se encontram mecanicamente solicitados, a análise destes permite a obtenção das condições de trabalho desejadas. Deste modo, é necessário identificar os valores de tensão e deformação que levarão a peça a uma falha. Este trabalho objetiva caracterizar o processo de deformação plástica de um aço AISI 1045 antes e após um processo de trefilação para uma redução em área de seção transversal. As curvas de escoamento real, convencional e de Hollomon, obtidas por meio de ensaios experimentais de tração e compressão para amostras jateadas e trefiladas caracterizaram o material utilizado. Os resultados sugerem as características das condições analisadas, assim como as propriedades intrínsecas do objeto de estudo. Além disso, as equações encontradas poderão ser utilizadas para alimentação de softwares de simulação computacional para descrever e/ou otimizar o processo de trefilação em questão.

Palavras-chave: AISI 1045, tração, compressão, trefilação, curva escoamento

INTRODUÇÃO

Durante um processo de deformação plástica a frio, materiais metálicos têm suas propriedades mecânicas alteradas devido ao escoamento dos planos cristalinos, conhecido como encruamento⁽¹⁾. Este fenômeno é inerente à conformação mecânica massiva e está presente na fabricação de barras de aço trefiladas, que serão utilizadas, por exemplo, em amortecedores de automóveis⁽²⁾. A evolução dos processos de fabricação, bem como a crescente competitividade e a necessidade de se evitar a perda de matéria-prima, requer que os fenômenos envolvidos sejam controlados. Desta forma, evitam-se custos desnecessários e o desperdício de energia para que se melhorem as propriedades da peça⁽³⁾. Um conhecimento mais aprofundado dos parâmetros e das características do material permitirá a produção de barras de aço com menores perdas e, portanto, evitando-se custos elevados, por meio da redução de consumo energético, permitindo uma fabricação mais sustentável.

Neste trabalho serão levantadas as curvas de escoamento de barras de um aço de médio teor de carbono, AISI 1045, que são utilizadas na produção de componentes da indústria. A importância do tema está referenciada no aumento de resistência ao escoamento e da resistência à ruptura em barras de aço do material estudado, submetidas a um processo de trefilação, com uma redução de área de seção transversal conhecida.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho está dividida em cinco etapas fundamentais: pesquisa bibliográfica, aquisição das barras de aço no processo industrial, usinagem dos corpos de prova, realização dos ensaios e análise/tratamento dos dados. O método experimental foi realizado com a coleta de corpos de prova do aço AISI 1045 antes e após o processo de trefilação para efetuar ensaios de tração, compressão.

Preparação das amostras

As amostras foram retiradas a partir de duas barras de aço de 1 metro de comprimento de um processo industrial de trefilação combinada em duas diferentes regiões, jateada e trefilada, conforme apresentado no processo de trefilação combinada na Figura (4). Foram ensaiados 3 corpos de prova para cada condição.

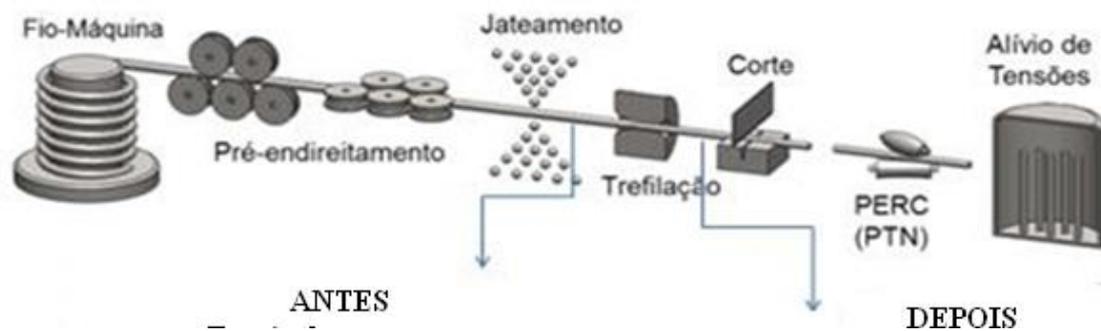


Figura 1. Processo de trefilação combinada

Os corpos de prova cilíndricos utilizados no ensaio de tração foram preparados de acordo com a norma ABNT:NBR 6152(1992)⁽⁵⁾, na Figura 22 têm-se as dimensões utilizadas. A área útil considerada foi de 122,72 mm², considerando o diâmetro inicial de 12,5 mm com altura inicial de 75 mm de comprimento.

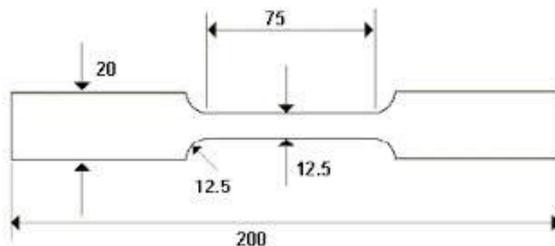


Figura 2. Corpo de prova de ensaio de tração

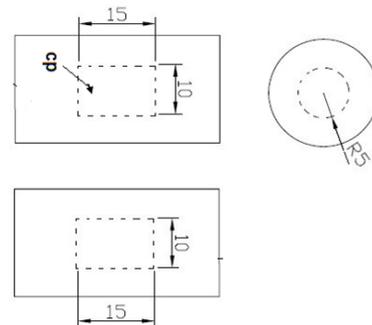


Figura 3. Corpo de prova de ensaio de compressão

Os corpos de prova para compressão foram dimensionados conforme Norma ASTM: E9(2000)⁽⁶⁾, esquematizados na Figura 33, onde a área útil

considerada foi de 78,54 mm², considerando o diâmetro inicial de 10 mm com altura inicial de 15 mm de comprimento.

Equipamento

O equipamento utilizado para a realização dos ensaios foi uma máquina universal de ensaios EMIC®. Os experimentos foram conduzidos com taxa de carregamento de 5 mm/min em um ambiente com temperatura ambiente de 23°C. (±1). A Tabela 1 apresenta a descrição da máquina utilizada.

Tabela 1: Características técnicas do equipamento

Equipamento	EMIC DL100t
Capacidade	10.000(Kgf)/100kN
Acionamento	Eletromecânico
Velocidade (mm/min)	250

Ensaio de tração e ensaios de compressão

No ensaio de tração as amostras foram fixadas no dispositivo acoplado à máquina, no qual o sistema fez a aplicação de forças crescentes de tração; de maneira contínua até a ruptura do corpo de prova. O material foi alongado sob tração uniaxial a uma velocidade constante. A carga necessária para alongar o corpo de prova foi registrada em função do tempo e do alongamento, obtendo-se, desta forma, uma curva do material ensaiado, sendo a força é registrada em Newtons e o aumento de comprimento em milímetro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio de tração

Os resultados obtidos demonstram valores médios de tensão máxima de 630 MPa no ensaio de tração e chegaram a 930 MPa em compressão, Figura 4. A região de deformação elástica difere entre os dois testes devido às diferenças no método de aquisição dos dados de deslocamento dos corpos de prova, a fixação da amostra ao aparelho pode ter sido um dos fatores que acarretou valores diferentes para o ensaio de compressão⁽⁷⁾.

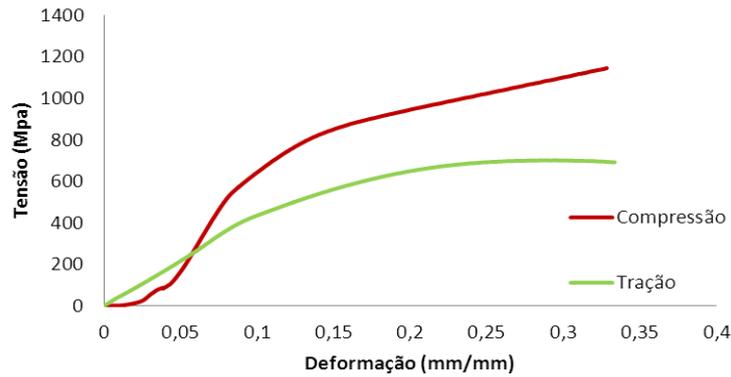


Figura 4 – Curva de escoamento Engenharia - Compressão e tração

A Figura 5 demonstra a comparação entre as curvas tensão-deformação real e de engenharia para a amostra jateada no ensaio de tração, já a Figura 6 apresenta a comparação entre essas curvas para a amostra jateada no ensaio de compressão.

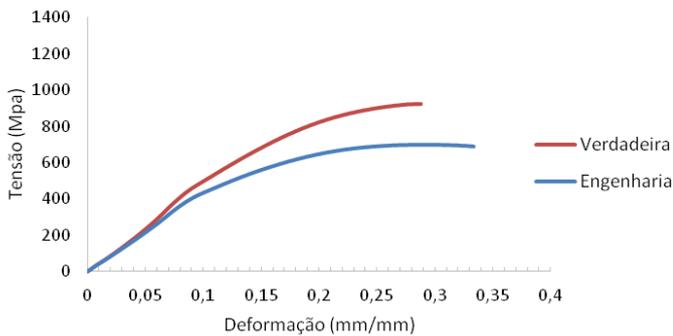


Figura 5 – Curva de escoamento verdadeira e de engenharia - Ensaio de tração1

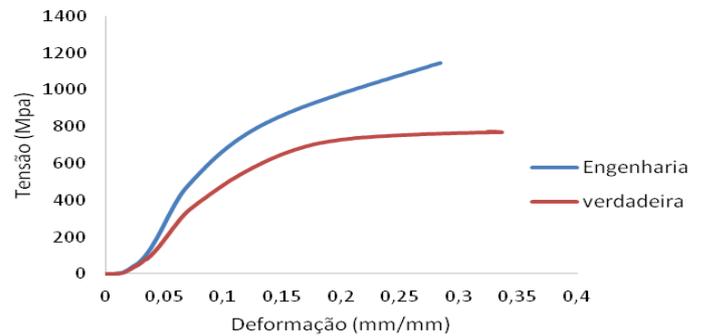


Figura 6 – Curva de escoamento verdadeira e de engenharia - Ensaio de compressão2

Neste comparativo pôde-se verificar que a curva de engenharia para o ensaio de tração localiza-se abaixo da curva real, já para o ensaio de compressão, esse comportamento apresenta-se de forma inversa. De acordo com Dieter⁽⁸⁾, a deformação verdadeira é válida somente até o ponto anterior ao início da estricção, onde o carregamento é máximo e as deformações excedem significativamente a deformação de engenharia calculada.

Na Figura 7 são apresentadas as curvas de escoamento para os três corpos de prova jateados ensaiados em tração.

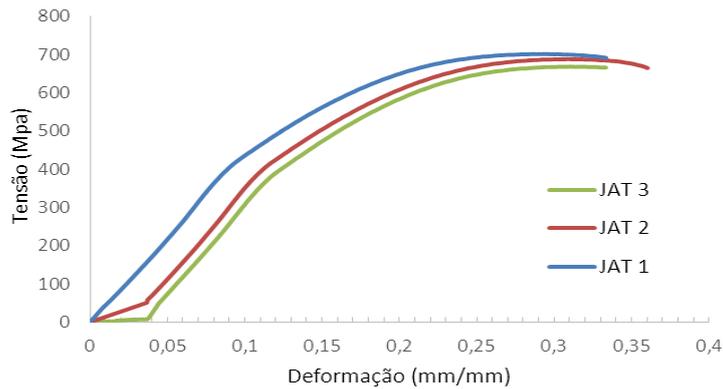


Figura 7 – Curva de escoamento das amostras jateadas - Ensaio de tração

Conforme Spim⁽⁷⁾, os mesmos materiais não apresentarão diagramas iguais, devido aos fatores que influenciam nos resultados como composição, imperfeições microscópicas, fabricação, taxa de carga e temperatura utilizada no teste. Entretanto, considerando o mesmo processo de fabricação, velocidade e temperatura dos ensaios, os valores obtidos nas amostras jateadas apresentam similaridade nos valores obtidos.

Conforme apresentado na Tabela 2 verificam-se as propriedades mecânicas das amostras jateadas analisadas por meio do ensaio de tração.

Tabela 2. Propriedades mecânicas das amostras jateadas - Ensaio de tração

Ensaio de tração - curva de engenharia				
Propriedade	Resistência Escoamento (0,2%)	Resistência Mecânica	Módulo de elasticidade	Alongamento uniforme
Unidade	MPa	Mpa	GPa	%
Jateada1	407,4	701,4	214	33%
Jateada2	400,9	688,1	241	37%
Jateada3	383,0	668,5	221	39%
Média	397,1	686,0	225	36%
Desvio	10	14	12	2%

A resistência de escoamento condiz com a determinação da ASM⁽⁶⁾, de 310 a 485 MPa. Este valor representa a mudança da zona elástica para a plástica, quando o fenômeno não é bem definido, considera-se na deformação de 0,002 mm/mm. Os resultados obtidos nas amostras jateadas, apresentaram uma média de 686 MPa, que também estão no alcance dos valores esperados para aços médio carbono que estão na faixa de 585 a 690MPa.

O módulo de elasticidade ou de Young pode ser considerado como a rigidez, ou uma resistência do material à deformação elástica, em que é válida

a Lei de Hooke. Nas amostras encontrou-se o valor médio de 225 GPa, ligeiramente acima do que se espera de um aço de médio teor de carbono que é 200GPa. Quanto ao alongamento uniforme obteve-se a média de 36%, valor superior quando comparado à literatura, que está na faixa de 16%⁽⁶⁾. Quando comparado aos valores sugeridos por Chiaverini⁽¹⁰⁾, aços de médio carbono 1050 apresentam alongamento na faixa de 10 a 30%, os resultados obtidos são coerentes.

O corpo de prova obtido após o ensaio de tração das amostras jateadas apresentou fratura dúctil, Figura 8, percebe-se que o aço rompeu de forma dúctil pelo perfil “taça” na região de fratura. Este tipo de fratura pode se formar na superfície do corpo de prova após o limite de carregamento e que como consequência atingiu o limite de resistência à fratura do material. A fratura dúctil é caracterizada por uma extensa deformação plástica, diferente da deformação mínima obtida em matérias frágeis⁽¹¹⁾.



Figura 8. Amostra jateada - fratura dúctil.

A Figura 9 apresenta que a amostra trefilada atingiu uma deformação em torno de 13% do seu tamanho inicial de 75 mm, sem romper o corpo de prova.



Figura 9. Amostra trefilada após ensaio de tração.

Ensaio de compressão

Na Figura 10 são apresentadas as curvas de escoamento para o ensaio de compressão para as amostras jateadas.

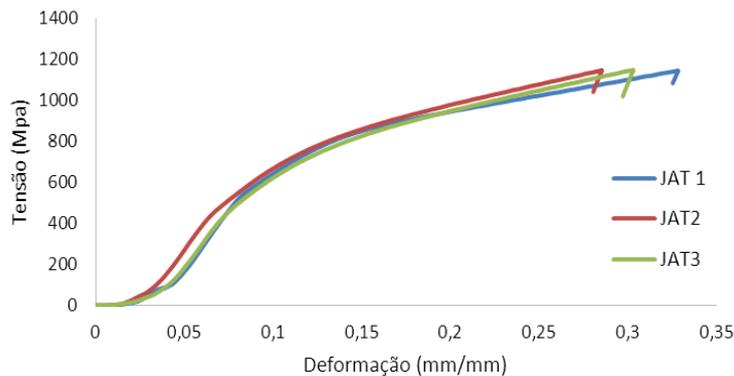


Figura 10 – Curva de escoamento das amostras jateadas - Ensaio de compressão

A resistência mecânica para o material alcança um valor médio de 1131 MPa e os valores de alongamento máximos são de 31% e a resistência ao escoamento atingiu um valor médio de 556 MPa, conforme Tabela 3.

Tabela 3. Propriedades mecânicas das amostras jateadas – ensaio de compressão

Ensaio de compressão - curva de engenharia				
Propriedade	Resistência Escoamento (0,2%)	Resistência Mecânica	Módulo de elasticidade	Alongamento uniforme
Unidade	MPa	MPa	GPa	%
Jateada 1	536	1126	214	33%
Jateada 2	555	1138	241	29%
Jateada 3	579	1130	221	30%
Média	556	1131	225	31%
Desvio	18	5	12	2%

Tanto os valores de resistência mecânica quanto de resistência ao escoamento apresentam diferenças em relação aos valores encontrados na amostra jateada para o ensaio de tração, para a resistência ao escoamento a diferença foi em torno de 28% e para a resistência mecânica a diferença foi de 39%. Estas diferenças são devidas às características intrínsecas de cada ensaio, além disso, este valor também se deve à forma como se dá a medição em relação ao fenômeno de estricção, que ocorre apenas no ensaio de tração.

Na Figura 11 são apresentadas as curvas de escoamento para o ensaio de compressão para as amostras trefiladas, conforme Tabela 4.

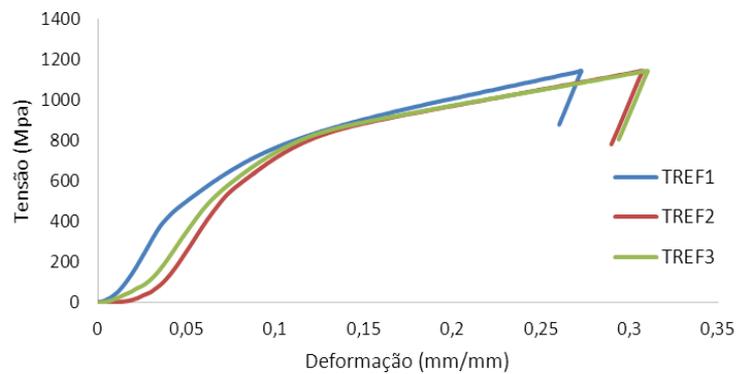


Figura 11 – Curva de escoamento das amostras trefiladas - Ensaio de compressão

Tabela 4. Propriedades mecânicas das amostras trefiladas

Ensaio de compressão - curva de engenharia				
Propriedade	Resistência Escoamento (0,2 %)	Resistência Mecânica	Módulo de elasticidade	Alongamento uniforme
Unidade	MPa	Mpa	GPa	%
Trefilada 1	673	1146	214	27%
Trefilada 2	615	1148	241	31%
Trefilada 3	647	1149	221	31%
Média	645	1148	225	27%
Desvio	24	1	12	2%

Na comparação dos resultados das amostras jateadas e trefiladas para o ensaio de compressão, observaram-se valores (Tabela 3 e Tabela 4) de 556 MPa e 645MPa, respectivamente, para os valores de resistência ao escoamento. Para a resistência mecânica encontrou-se um valor de 1131 MPa para a jateada e 1148 MPa para a trefilada. O processo de encruamento

proporcionou um ganho de resistência ao escoamento de 13% para esta redução em trefilação, o que significa que este processo de fabricação garante um ganho de resistência ao material. O metal mais encruado apresenta maiores limites de escoamento, maior dureza e menor alongamento e estricção. À medida que a resistência se eleva pelo encruamento a ductilidade decresce⁽¹⁾. A resistência mecânica para ambas as condições analisadas não apresentou diferenças significativas.

Equação de Hollomon

Para obter a equação de Hollomon, que descreve a resistência ao escoamento (K_f) como função da deformação verdadeira no processo de deformação a frio, utilizaram-se os dados obtidos na Tabela 5.

Tabela 5. Dados obtidos na linearização de tensão e deformação

Ensaio	Linearização		Ensaio	Linearização	
	C	N		C	N
Jateada 1	1045	0,23	Trefilada 1	1038	0,17
Jateada 2	1140	0,26	Trefilada 2	963	0,15
Jateada 3	1127	0,28	Trefilada 3	930	0,13
Média	1104	0,26	Média	977	0,15
Desvio	52	0,03	Desvio	55	0,02

O coeficiente de encruamento médio encontrado foi de 0,26 para os materiais jateados e 0,15 para os trefilados. Esta medida também pode ser considerada como o valor da ductilidade, uma vez que ele indica a deformação verdadeira para a qual se inicia a estricção do metal, o que significa um valor de 26% de alongamento para jateados e 15% para os trefilados. O que se justifica, visto que materiais mais endurecidos apresentam menos ductibilidade. Segundo o Helman⁽⁹⁾, os valores estão de acordo para aços de médio teor de carbono, $n = 0,26$.

Já o parâmetro C, valor indicativo da tensão de escoamento máxima obtido, foi de 1104 MPa para o material jateado e 977 MPa para o material trefilado. As equações de escoamento de Hollomon encontradas para o material analisado são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Equações de Hollomon para as amostras analisadas

Amostras Jateadas	$K_f = 1104 \cdot \Phi^{0,26}$
Amostras Trefiladas	$K_f = 977 \cdot \Phi^{0,15}$

CONCLUSÕES

Este estudo voltou-se para a avaliação do comportamento e das propriedades mecânicas de um aço AISI 1045, antes e após o processo de trefilação, o qual foi submetido a uma redução de 11% da área de seção transversal. Foram analisados aspectos da caracterização e do ganho de resistência mecânica, antes e após o processo de deformação plástica.

Diante dos resultados experimentais obtidos e a partir das discussões apresentadas é podemos concluir que o material objeto deste estudo apresentou coeficiente de elasticidade, resistência mecânica e coeficiente de encruamento condizente com a literatura, além disso, estas equações poderão ser utilizadas futuramente para alimentação de softwares de simulação computacional para descrever ou otimizar o processo de trefilação em questão.

REFERÊNCIAS

1. BRESCIANI FILHO, E.; SILVA, I.B.; BATALHA, G.F.; BUTTON, S.T. **Conformação Plástica dos Metais**. Volume 1. São Paulo: UPUSP, 2011.
2. SOUZA, Sergio Augusto de - **Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos**. 5ª Ed. São Paulo, Blucher, 1986.
3. SCHAEFFER, Lirio. **Conformação mecânica**. 2ª ed. Porto Alegre: Imprensa Livre Editora, 2004.
4. SOUZA, Tomaz Fantin de. **Simulação computacional de um processo de trefilação para produção de barras redondas de aço AISI 1045**. Dissertação de mestrado em Engenharia na área de Processos de Fabricação. Porto Alegre: UFRGS, 2011.
5. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. - Materiais metálicos: Ensaio de tração à temperatura ambiente. **NBR 6152**. Rio de Janeiro, 1992.
6. ASM – American Society for Testing and Materials, Standard Test Methods of Compression Testing of Metallic Marials at Room Temperature. **ASTM:E9 – 89ª**. West Conshohocken, PA. United Sates, 2000.

7. SPIM, J.A.; GARCIA, A.; SANTOS, C.A. **Ensaio dos materiais**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
8. DIETER, G. E. **Metalurgia Mecânica**. 4ªed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1996.
9. HELMAN, H. e CETLIN, P. R. **Fundamentos da Conformação Mecânica dos Metais**. 2ªed. São Paulo: Artiliber, 2006.
10. CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica – Processo de fabricação e tratamento**, Volume 3, 2ªEd. New York: Mcgraw-Hill, 1990.
11. ASKELAND. Donald R.; PHULÉ, Pradeep P. **Ciência e engenharia dos materiais**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

CHANGING THE EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES A STEEL 1045 AFTER THE PROCESS OF FORMING PLASTIC

ABSTRACT

The knowledge of mechanical properties is of paramount importance when choosing materials as certain machinery components and steel structures are mechanically requested on projects. A well-defined process has better engine and tooling efficiency; lower manufacturing costs; and consequently greater energy efficiency in production, operating with industrial and economic focus on sustainability. This way, it is necessary to identify the tension and deformation values that could lead a mechanical piece to fail. This paper aims to characterize the plastic deformation process of an AISI 1045 steel before and after drawing processing it for a reduction in cross-sectional area. The true flow, conventional and Hollomon curves obtained by traction and compression tests with blasted and wire drawn samples characterize the used material. The results suggest the characteristics of the studied conditions, as well as the intrinsic properties of the object of study, demonstrating the increased resistance that the material acquires after the plastic deformation process. Furthermore, the found equations may be used as input for computational simulation software to help describing and optimizing the wire drawing process.

Keywords: AISI 1045, traction, compression, wire drawing, flow curve.