REVISTA DCS
FUNDADA EN 2000

ANÁLISE DO RETORNO ELÁSTICO NO PROCESSO DE DOBRAMENTO EM V LIVRE DO AÇO SAE1010

ANALYSIS OF THE SPRINGBACK IN THE FREE V-BENDING PROCESS OF SAE1010 STEEL

ANÁLISIS DE LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA EN EL PROCESO DE DOBLADO EN V LIBRE DEL ACERO SAE1010

Valtenês de Souza Bossle[1], Lirio Schaeffer[2], Rafael Pandolfo da Rocha[3], Matheus Henrique Riffel[4], Diego Chiarello[5], Juliano Cantarelli Toniolo[6]

DOI: 10.54899/dcs.v22i81.3177
Recibido: 10/08/2025 | Aceptado: 19/08/2025 | Publicación en línea: 27/08/2025.

RESUMO

O aço SAE1010 é um aço classificado como convencional de baixo teor de carbono, baixa resistência mecânica e se verifica que, quanto ao comportamento mecânico, há uma necessidade de se compreender melhor o desempenho deste aço para ampliar a sua utilização na indústria. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo, analisar o fenômeno do retorno elástico deste aço no processo de dobramento em V livre, através dos métodos analítico de cálculos e da simulação computacional, comparando com resultados obtidos por meio de análise experimental. Para tanto, adotou-se como referencial teórico na determinação do Fator de Retorno Elástico, metodologias baseadas em literaturas que abordam os cálculos analíticos deste parâmetro e em normas para realização do experimento de dobramento, bem como utilizou-se software que efetua simulação computacional através do Método de Análise por Elementos Finitos. Trabalhou-se com 3 grupos distintos de corpos de prova, variando-se a distância entre apoios da matriz, deslocamento e raio do punção. Conforme variou-se estes 3 parâmetros do processo, verificou-se que para este aço, a previsibilidade do Fator de Retorno Elástico é viável através do método analítico de cálculos e da simulação computacional, variando de 0,3% a 3,3% e -0,1% a 3,1% respectivamente em relação aos resultados experimentais.

[1] Doutorando em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: valtenes.bossle@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-9065-0239
[2] Doutor Engenharia em Conformação Mecânica, Rheinisch-Westfalischen Technischen Hochschule, Aachen, Alemanha. E-mail: schaefer@ufrgs.br Orcid: https://orcid.org/0000-0002-3427-2405
[3] Doutorando em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: rafael.pandolfo@ufrgs.br
Orcid: https://orcid.org/0009-0004-7835-5159
[4] Doutorando em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: matheus.riffel@ufrgs.br
Orcid: https://orcid.org/0009-0009-4639-0431
[5] Mestre Profissional em Tecnologia e Engenharia de Materiais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: diego.dchiarello@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0009-0001-5191-963
[6] Doutor em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: juliano.toniolo@caxias.ifrs.edu.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-8850-6481

Palavras-chave: Aço SAE1010. Retorno Elástico. Simulação Computacional. Processo de Dobramento em V Livre.

ABSTRACT

SAE1010 steel is classified as a conventional steel with low carbon content and low mechanical strength. Regarding its mechanical behavior, there is a need to better understand its performance to expand its use in industry. Therefore, this work aims to analyze the springback phenomenon of this steel in the free V-bending process through analytical calculations methods and computer simulation, comparing it with results obtained through experimental analysis. To this end, methodologies based on literature that approach the analytical calculations of this parameter and standards for carrying out the bending experiment were adopted as a theoretical reference for determining the Springback Factor, as well as software that performs computational simulation through the Finite Element Analysis Method. Three distinct groups of test specimens were used, varying the distance between die supports, displacement, and punch radius. As these three process parameters were varied, it was found that for this steel, the Springback Factor is predictable through analytical calculations methods and computer simulation, ranging from 0.3% to 3.3% and -0.1% to 3.1%, respectively, in relation to the experimental results.

Keywords: SAE1010 Steel. Springback. Computer Simulation. Free V-Bending Process.

RESUMEN

El acero SAE1010 se clasifica como un acero convencional con bajo contenido de carbono y baja resistencia mecánica. En cuanto a su comportamiento mecánico, es necesario comprender mejor su rendimiento para ampliar su uso en la industria. Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo analizar el fenómeno de recuperación elástica de este acero en el proceso de doblado en V libre mediante cálculos analíticos y simulación por computadora, comparándolo con los resultados obtenidos mediante análisis experimental. Para tal fin, se adoptaron como referencia teórica para la determinación del Factor de Retorno Elastico metodologías basadas en la literatura que abordan los cálculos analíticos de este parámetro y normas para la realización del experimento de doblado, así como software que realiza simulación computacional mediante el Método de Análisis de Elementos Finitos. Se utilizaron tres grupos distintos de muestras de prueba, variando la distancia entre los soportes de la matriz, el desplazamiento y el radio del punzón. Al variar estos tres parámetros del proceso, se encontró que para este acero, el factor de recuperación elástica es predecible mediante cálculos analíticos y simulación por computadora, con valores que oscilan entre 0,3 % a 3,3 % y entre -0,1 % a 3,1 %, respectivamente, en relación con los resultados experimentales.

Palabras clave: Acero SAE1010. Recuperación Elástica. Simulación por Computadora. Proceso de Doblado en V Libre.

Esta obra está bajo una Licencia CreativeCommons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional

INTRODUÇÃO

O aço carbono SAE1010 é classificado como aço de qualidade comercial e é usado em processos de dobramento nas indústria automotiva. De acordo com o critério estabelecido pela UltraLight Steel Auto Body – Advanced Vehicle Concepts (ULSAB-AVC), que relaciona Tensão Máxima e percentual de alongamento, o aço SAE1010 pode ser classificado como aço convencional (ULSAB, 2017).

Um dos desafios do processo de conformação mecânica de chapas metálicas de aços é conseguir a previsibilidade do retorno elástico, que podem fragilizar a região de dobra. Sendo assim, se verifica que há uma necessidade de se compreender melhor o comportamento do aço SAE1010 para ampliar a sua utilização na indústria, assim como se observa poucas referências na literatura, quanto ao comportamento mecânico do retorno elástico para este aço.

Este artigo trata sobre a análise do retorno elástico no processo de dobramento em V livre do aço SAE1010, através da verificação do Fator de Retorno Elástico (K), obtido através de experimento de dobramento em V livre, comparando com valores calculados, fazendo uso de equações propostas pela literatura e com os valores obtidos por meio da simulação numérica computacional.

REFERENCIAL TEÓRICO

No decorrer de algumas décadas passadas a preocupação primordial no processo de conformação mecânica de chapas metálicas era a eliminação de trincas e estricções. Com o passar do tempo, a atenção se voltou para a necessidade de se conseguir controlar a estabilidade e a precisão dimensional e muitas vezes o Retorno Elástico é um dos parâmetros que dificulta este controle. A distorção geométrica que prejudica ou impossibilita a montagem de peças é muitas vezes causada pelo Retorno Elástico e é um desafio a ser resolvido no processo de dobramento (Vorkov, 2018).

Alguns parâmetros do processo de dobramento em V livre como a Espessura da Chapa (s), o Raio do Punção (r_p), a Força de Dobramento (F_d), a Distâncias entre os Apoios (w) e o Deslocamento Máximo do Punção (h), bem como algumas propriedades do material como o índice de anisotropia (r), o coeficiente de encruamento (n), aspectos microestruturais e condições

de lubrificação entre outros, influenciam no retorno elástico (Keeler; Kimchi; Mooney, 2022; Livatyali; Altan, 2001; Lajarin; Marcondes, 2013).

Para se determinar o Fator de Retorno Elástico (K) experimental, pode-se utilizar a Equação 1, que relaciona a Espessura da Chapa (s), o Ângulo de dobramento antes do retorno elástico (α_0) associado ao Raio de dobramento antes do retorno elástico (r_0) e o Ângulo de dobramento após o retorno elástico (α_1) associado ao Raio de dobramento após o retorno elástico (r_1) (Santos, 2023).

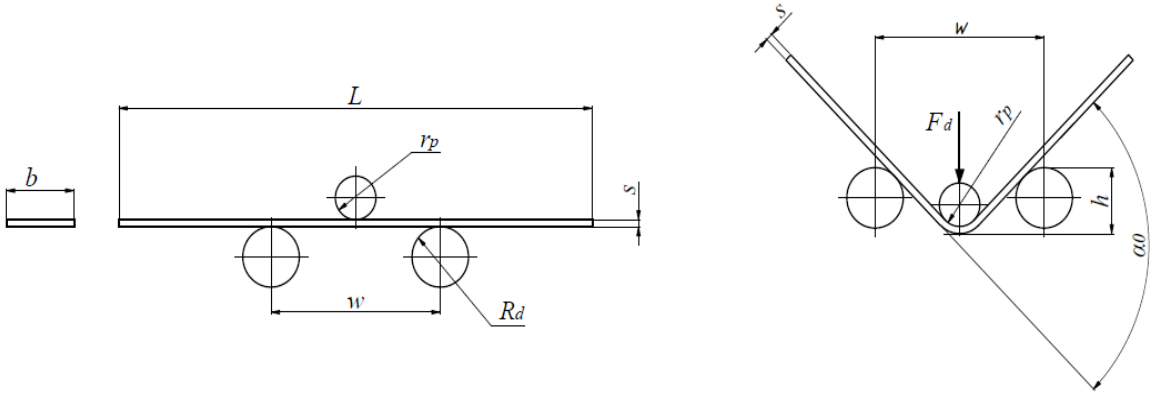
$$K = \frac{\alpha_1}{\alpha_0} = \frac{r_0 + s/2}{r_1 + s/2} \qquad (1)$$

Na Figura 1 está representado esquematicamente o Dobramento em V livre e os parâmetros envolvidos neste tipo de Dobramento (Lange, 1990; Onzi, 2022).

Quando a ferramenta de dobra atinge a posição final, a chapa estará suportando a Força de Dobramento (F_d) correspondente ao Ângulo de dobramento antes do retorno elástico (α_0). No momento em que a ferramenta é retirada liberando a superfície de contato, ocorre a liberação da força e como consequência ocorre o efeito mola, refletindo na mudança do Ângulo de dobramento após o retorno elástico (α_1) (Vorkov, 2017).

No processo de dobramento, quanto menor for a espessura da chapa, menor poderá ser o raio mínimo (r_{min}) de dobra, da mesma forma, quanto maior for a espessura da chapa, maior deverá ser o raio mínimo (r_{min}) de dobra. Isto devido a relação entre a espessura e o alongamento longitudinal da chapa (Benazzi *et al*., 2012).

Figura 1– Representação do Dobramento em V livre e demais parâmetros do processo



Fonte: Autores

Normalmente para se determinação o Raio mínimo (r_{min}) de dobra se considera que este seja múltiplo da espessura da chapa, no entanto, não deve ser considerado somente a espessura da chapa, visto que materiais dúcteis como o alumínio, latão, cobre e aços convencionais de baixo carbono, podem ser dobrados com raios menores se comparados a aços de alta resistência que necessitam ser dobrados com raios maiores, considerando que neste comparativo todos estes materiais tenham a mesma espessura (Santos, 2023).

O Raio do Punção (r_p) deve ser escolhido de acordo com as características e espessura do material e, na falta de valores específicos, podemos usar os valores determinados pela norma DIN 9635, a qual orienta para o aço, raio mínimo de 1 a 3 vezes a espessura da chapa (Benazzi; Caversan, 2012).

Através da simulação numérica computacional para conformação mecânica e análise do processo de fabricação, pode-se prever como uma peça irá reagir efetivamente, utilizando para isso o CAE como ferramenta computacional, onde um dos métodos é o de elementos finitos (Rocha *et al.*, 2022).

A chapa de aço SAE1010 é uma liga ferro-carbono que compreende de 0,08% a 0,13% de carbono e normalmente é submetida a processos de estampagem como dobramento, para produzir peças metálicas, como copos, panelas, cartuchos, entre outros (Haag; Ferranti, 2017).

METODOLOGIA

Materiais

Este trabalho de pesquisa foi desenvolvido utilizando-se chapas de aço convencional SAE1010 com espessura (s) de 3,0mm. Para a caracterização dos materiais, realizou-se ensaios de tração e anisotropia.

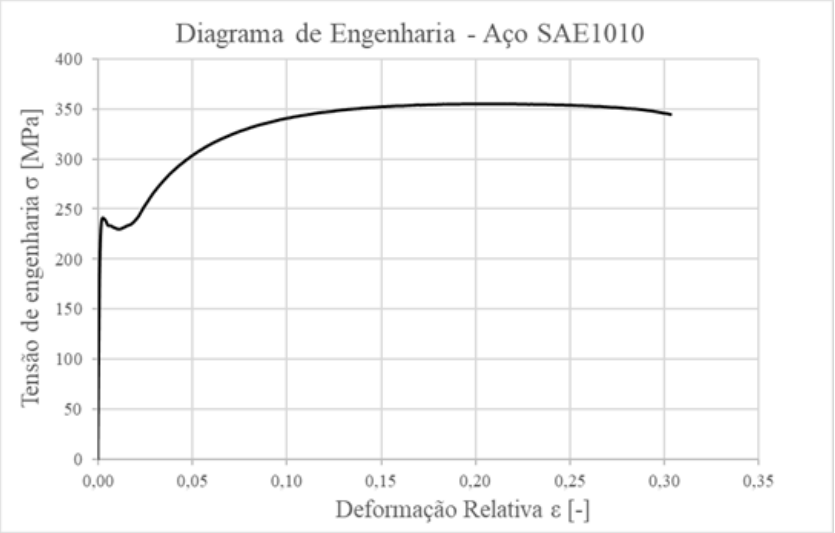
Determinação das Propriedades Mecânicas

Para determinação das propriedades mecânicas, realizou-se ensaio de tração para se construir a Curva de Engenharia e de Escoamento. As dimensões e geometria utilizadas para os corpos de prova foram do tipo “gravata” e estão de acordo com o requisito da norma ABNT NBR 6892-1:2013, bem como os procedimentos para execução deste ensaio. Para realização do ensaio

de tração, foi utilizado um equipamento de ensaio universal marca EMIC de 100 kN.

A curva de engenharia deste aço está apresentada na Figura 2. Esta curva foi construída com o software *MS Excel*, utilizando valores obtidos através do software *Tesc* 3.04 incorporado ao equipamento de ensaio de tração.

Figura 2 – Diagrama de Engenharia do aço SAE1010.



Fonte: Autores, 2025.

Foram fabricados nove corpos de provas, obtidos através do processo de corte laser e para construção da Curva de engenharia, considerou-se a média dos valores de Força e deslocamento obtidos através do ensaio de tração.

Na Tabela 1 estão apresentados os valores das propriedades mecânicas de Tensão de escoamento de engenharia (σ_e), Tensão máxima (R_m), Alongamento (δ) e Módulo de elasticidade (E) para este aço e determinados partir dos dados do ensaio de tração.

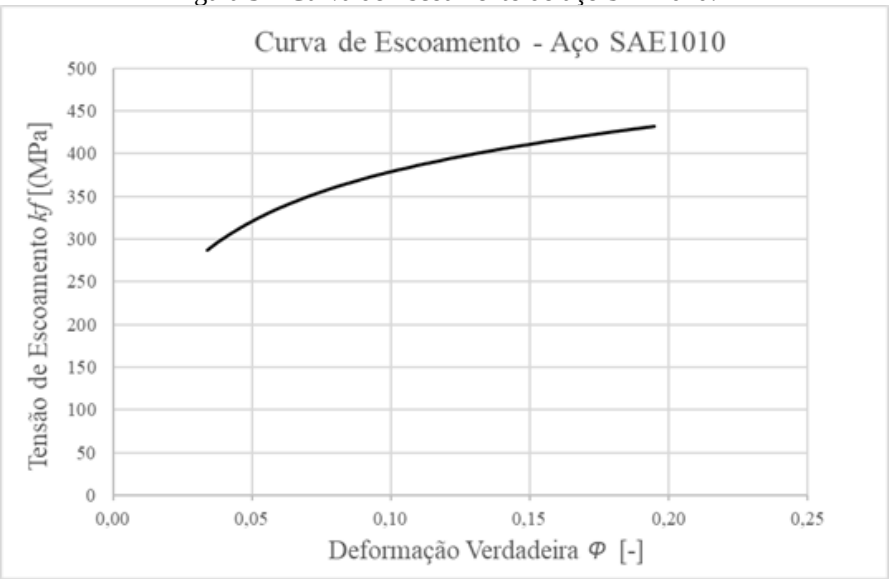
Tabela 1 – Propriedades mecânicas verificadas com os dados do ensaio de tração para o aço SAE1010.

Tensão de escoamento de engenharia (σ_e)	Tensão máxima (R_m)	Alongamento (δ)	Módulo de elasticidade (E)
241,78 MPa	343,56 MPa	30,86%	198,57 GPa

Fonte: Autores, 2025.

A curva de escoamento deste aço foi construída utilizando-se os dados de força e área instantânea, considerando-se somente a zona de deformação plástica uniforme a curva de engenharia, com início no limite de escoamento de engenharia e finalizando no limite de resistência do material. Na Figura 3 está representada a curva de escoamento do aço SAE1010.

Figura 3 – Curva de Escoamento do aço SAE1010.



Fonte: Autores, 2025.

Se determinou a equação que descreve a curva de escoamento deste aço, através dos dados da Tensão máxima (R_m) e da respectiva Deformação relativa (ε), bem como, de acordo com Schaeffer *et al*. (2007), o qual considera que após a formação do pescoço nesta região, a Deformação verdadeira (φ) se iguala ao Índice de encruamento (n).

Para condição de força máxima, utilizou-se as Equações 2 e 3 na determinação da Tensão de escoamento (kf) e Deformação verdadeira (φ) respectivamente.

$$kf = \sigma(1 + \varepsilon) \qquad (2)$$

$$\varphi = \ln(1 + \varepsilon) \qquad (3)$$

Em seguida, utilizou-se a Equação 4 de Ludwik-Hollomon, onde inseriu-se os valores do Índice de encruamento (n), Deformação Verdadeira (φ) e Tensão verdadeira (kf), correspondentes ao ponto de força máxima, para então determinar o valor da Constante de Resistência (C) deste material. Após, se determinou as Equações 5, a qual descreve a curva de escoamento do aço SAE1010.

$$kf = C.\varphi^{n} \qquad (4)$$

$$kf = 589{,}24.\varphi^{0{,}19} \qquad (5)$$

Métodos

Análise Experimental

Para o experimento de dobramento, foram fabricados 9 corpos de prova obtidos através de corte laser, utilizando-se chapa com espessura (s) de 3mm do aço SAE1010.

Para seleção dos raios de dobramento, adotou-se os critérios definidos pela norma DIN 9635, a qual estabelece raio de 1 a 3 vezes a espessura (s) para chapa fabricadas com aço e utilizou-se para este experimento, punções com raios de 3, 6 e 9mm, dividindo-se em 3 grupos distintos de 3 corpos de prova para cada Raio do Punção (r_p).

Na Tabela 2 estão apresentados os parâmetros fixos utilizados no experimento de dobramento em V livre.

Tabela 2 – Parâmetros fixos utilizados no experimento de Dobramento em V livre.

Ângulo de dobramento antes do retorno elástico (α_0)	90°
Velocidade do deslocamento do punção (v)	10 mm/min
Espessura da chapa (s)	3mm
Largura do corpo de prova (b)	30mm
Comprimento do corpo de prova (L)	210mm
Raio da Matriz (R_d)	25mm

Fonte: Autores, 2025.

Os valores do Deslocamento Máximo do Punção (h) foram obtidos através da representação geométrica, utilizando o software INVENTOR, onde se representou geometricamente cada grupo distinto do experimento de dobramento em V livre, em função do Raio do Punção (r_p) e para o Ângulo de dobramento antes do retorno elástico (α_0) de 90°. Para cada representação, variou-se a Distância entre os Apoios (w), sendo o Raio da Matriz (R_d) o mesmo para todas as representações (25mm). A Distância entre os Apoios (w) foi determinada em função do Raio do Punção (r_p), do Raio da Matriz (R_d) e da espessura da chapa (s), conforme Equação 6 adaptada da norma ABNT NBR 7438: 2022.

$$w = (2 * r_p) + (3 * s) + (2 * R_d) \qquad (6)$$

Desta forma verificou-se para cada Raio do Punção (r_p), os correspondentes valores de Deslocamento Máximo do Punção (h) e Distância entre os Apoios (w), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de Deslocamento Máximo do Punção (h) e Distância entre os Apoios (w) para cada Raio do Punção (r_p).

Material	Raio do Punção r_p (mm)	Distância entre os Apoios (w)	Deslocamento Máximo do Punção (h)
SAE1010	3	65	20
	6	71	21
	9	77	23

Fonte: Autores, 2025.

Para análise experimental, utilizou-se uma máquina de ensaio universal marca EMIC de 600 kN para realizar os experimentos de dobramento em V livre, conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Representação do experimento de dobramento em V livre.

Fonte: Autores, 2025.

O Fator do Retorno Elástico (K) experimental foi determinado utilizando a Equação 1, que é a razão entre os Ângulos de dobramento após o Retorno Elástico (α_1) medidos no experimento de dobramento e o Ângulo de dobramento antes do retorno elástico (α_0) definido em 90°.

Método Analítico de cálculos

Para realização dos cálculos analíticos através de equacionamento matemático, se utilizou

os mesmos parâmetros da análise experimental. Para determinação dos valores do Fator de Retorno Elástico (K) analítico foi utilizada a Equação 7. Onde, s é a Espessura, b a Largura, E o Módulo de elasticidade do material, r_p o Raio do Punção (Dieter, 1981).

$$K = 1 - \frac{12M\left(r_p + 0{,}5.s\right)}{E.b.s^3} \qquad 7)$$

Já o Momento de Dobramento (M) e a Força de Dobramento (F_d) foram calculados através das Equações 8 (Rodrigues; Martins, 2010) e 9 (SSAB, 2021). Dentre as equações disponíveis na literatura para o cálculo da Força de Dobramento (F_d), optou-se pela Equação 9, pois foi com esta que se obteve valores deste parâmetro mais próximos dos obtidos através do experimento de dobramento.

$$M = \frac{F_d.w}{4} \qquad (8)$$

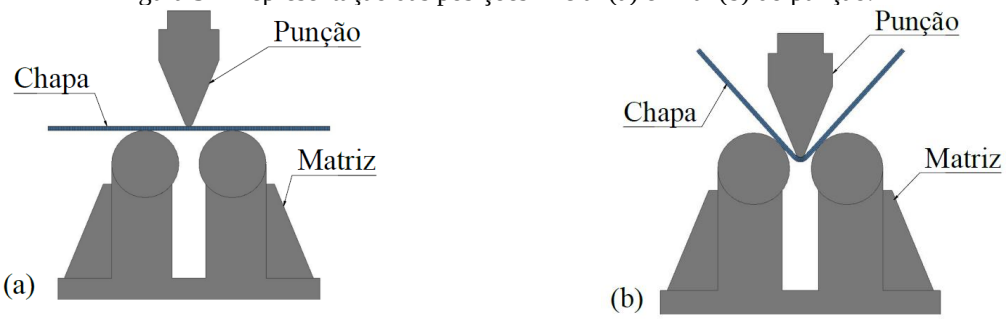
$$F_d = \frac{R_m.b.s^2}{(w - R_d - r_p)} \qquad (9)$$

Simulação Computacional

As simulações computacionais foram utilizadas com o objetivo de comparar os resultados da análise experimental e do método analítico de cálculos. Para as simulações numéricas computacionais, empregou-se o Método de Análise por Elementos Finitos (FEM) e foram empregados os mesmos parâmetros utilizados na análise experimental.

O software utilizado para realizar as simulações computacionais foi o SIMUFACT FORMING 15®, que é fornecido pela empresa MSC SOFTWARE COMPANY, a qual é subsidiária do grupo HEXAGON. Na Figura 5 está representado as posições inicial (a) e final (b) do punção.

Figura 5 – Representação das posições inicial (a) e final (b) do punção.



Fonte: Autores, 2025.

Com os resultados obtidos através dos ensaios de tração, inseriu-se no software *SIMUFACT FORMING* 15® as propriedades mecânicas do aço SAE1010, conforme apresentado na Tabela 4.

Foram realizadas 3 simulações de dobramento em V livre do aço SAE1010, com o objetivo de estimar o Fator de Retorno Elástico (K) para este aço. Os punções e a matriz foram considerados como objetos rígidos e não-deformáveis, enquanto que as chapas foram consideradas objetos elastoplásticos. O material considerado para as ferramentas (punções e matriz) é um dos disponíveis na biblioteca do software *SIMUFACT FORMING* 15® e foi o aço-ferramenta AISI H13.

Tabela 4 – Propriedades mecânicas do aço SAE1010 utilizadas na simulação computacional.

Propriedade mecânica	Valores médios
Tensão de Escoamento, σ_e (MPa)	241,78
Tensão Máxima, R_m (MPa)	343,56
Densidade, ρ (g/cm³)	7,85
Módulo de Elasticidade, E (GPa)	198,57
Coeficiente de Poisson, v (-)	0,29
Índice de Anisotropia, r (-)	1,067
Coeficiente de Resistência C (MPa)	589,24
Índice de Encruamento n (-)	0,19

Fonte: Autores, 2025.

RESULTADOS E DISCUSÃO

Para os 3 grupos de corpos de prova de Raio do Punção (r_p) de 3, 6 e 9mm, constatou-se, através dos resultados do experimento de dobramento que não ocorreram trincas na região de dobra. Na Tabela 5 estão apresentados para o aço SAE1010, valores do Fator de Retorno Elástico (K), calculados, onde se observa quanto menor o Raio do Punção (r_p), maior é o Fator de Retorno

Elástico (K).

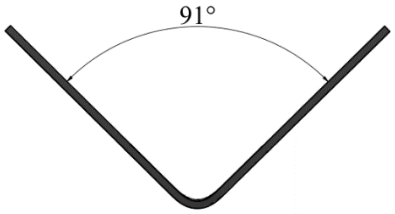
Tabela 5 – Valores do Fator de Retorno Elástico (K) para o aço SAE1010.

Raio dos Punções r_p (mm)	Fator de Retorno Elástico K (-)
3	0,997
6	0,994
9	0,991

Fonte: Autores, 2025.

Na Figura 6 está representado o ângulo após o retorno elástico para uma das simulações computacionais. A geometria da chapa dobrada, foi gerada e fornecida pela software SIMUFACT FORMING 15® e posteriormente transferida para o software INVENTOR, onde se verificou para esta simulação um retorno elástico de 1°.

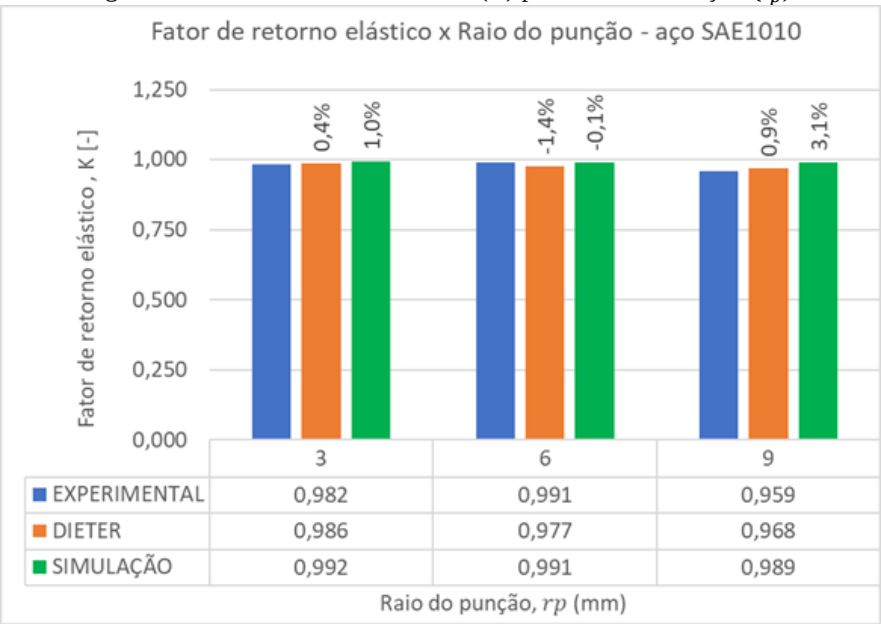
Figura 6 – Ângulo após o retorno elástico de uma das simulações computacionais.



Fonte: Autores, 2025.

De acordo com os resultados apresentados para o Fator de Retorno Elástico (K), obtidos através dos métodos analítico de cálculos e simulação computacional em comparação a análise experimental, se verifica que os percentuais de erro ficaram abaixo de 10%, conforme mostrado no gráfico da Figura 7.

Figura 7 – Fator de Retorno Elástico (K) pelo Raio do Punção (r_p).



Fonte: Autores, 2025.

Para a análise experimental, assim como para os métodos analítico de cálculo e simulação computacional, se observa que os valores do Fator de Retorno Elástico (K), variaram em função da variação dos parâmetros do experimento de dobramento em V livre. Verifica-se que para o aço SAE1010, há uma tendência na diminuição do Fator de Retorno Elástico (K), conforme aumenta-se o Raio do Punção (r_p).

CONCLUSÃO

Para o processo de dobramento em V livre do aço SAE1010, considerando os Raios do Punção (r_p), os correspondentes valores de Deslocamento Máximo do Punção (h) e Distância entre os Apoios (w) utilizados no experimento, para o método analítico e simulação computacional, conclui-se que, a previsibilidade do Fator de Retorno Elástico (K) através do método analítico de cálculos, é indicada a utilização da Equação 7 de DIETER, assim como a utilização da simulação computacional, através do software SIMUFACT FORMING 15®, pois os resultados verificados em relação a análise experimental, ficaram muitos próximos, variando de 0,3% a 3,3% e -0,1% a 3,1% respectivamente.

Na região externa de dobra, não se verificou visualmente a ocorrência de trincas para os 3 Raios do Punção (r_p) utilizados no experimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao LdTM (Laboratório de Transformação Mecânica) da UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul); ao LabEM (Laboratório de Ensaios Mecânicos) do IFRS (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul) – Campus Caxias do Sul; à empresa PHD GUINDASTES e ao grupo PCPSTEEL/UNYLASER pelo suporte técnico; ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro ao CBCM através dos processos 309188/2021-9 e 446930/2023-7.

REFERÊNCIAS

ALTAN, T.; OH, S.; GEGEL, H. L. **Conformação de Metais: Fundamentos e Aplicações**. Publicação EESC-USP, São Carlos, 1999.

BENAZZI JUNIOR, I; CAVERSAN, E.G. **Tecnologia de Estampagem 2**: Dobra e Repuxo. Fatec: São Paulo, 2012

DIETER, G. E. **Metalurgia Mecânica**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Ganabara Koogan S.A., 1981.

KEELER, S.; KIMCHI, M.; MOONEY, P. J. Advanced High-Strength Steels Guidelines. **WorldAutoSteel**, [s. l.], v. 6, n. September, p. 314, 2017. Disponível em: https://www.worldautosteel.org/projects/advanced-high-strength-steel-application-guidelines/. Acesso em: 19 de janiero de 2022.

LAJARIN, S. F.; MARCONDES, P. V. P. Influência dos parâmetros de processo e de ferramenta na ocorrência do Retorno Elástico. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**, 7., 2013, Curitiba. Anais eletrônicos. Itatiaia: Abcm, 2013.

LIVATYALI, H., ALTAN, T., 2001, “Prediction and elimination of Springback in straight flanging using computer aided design methods: Part 1”. **Experimental investigations. J. of Mat. Proc. Tech**., Vol. 117(1-2), pp. 262–268.

ONZI, C. L. 2022. **Avaliação do retorno elástico no processo de dobramento empregando aço SAE 1006**. Dissertação – Mestrado em engenharia de minas, metalúrgica e materiais – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2022.

ROCHA, R. P. **Análise experimental e validação numérica do processo de estampagem de peças não-axissimétricas em aço inoxidável AISI304**. Dissertação de mestrado em engenharia de minas, metalúrgica e materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2022.

ROCHA, R., RIFFEL, M., MOZETIC, H., SCHAEFFER, L. Análise do Retorno Elástico no Processo de Dobramento em “V” em Aços de Alta Resistência. **Brazilian Journal of Development**. v.8, n.4, p. 27662-27677, abril 2022.

RODRIGUES, J., MARTINS P. **Tecnologia Mecânica: Tecnologia da deformação plástica - aplicações industriais**. Lisboa: Escolar, p. 265-332, 2010.

SANTOS, J. T. dos. **Análise do processo de dobramento do aço de alta resistência quadr 450, 500 e 550**. 2023. Dissertação – Mestrado em engenharia de minas, metalúrgica e materiais – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2023.

SCHAEFFER, L., ROCHA, A. **Conformação Mecânica – Cálculos aplicados em processos de fabricação**. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2007.

SSAB. **Swedish Steel AB**. https://www.ssab.com/Products/Brands/Strenx/Products/. Acesso em: 17 de novembro de 2021.

ULSAB. **UltraLight Steel Auto Body – Advanced Vehicle Concepts (ULSAB-AVC)**. http://www.worldautosteel.org/projects/ulsab-avc-2/. Acesso em: 21 de janeiro de 2022.

VORKOV, V., et al. Experimental Investigation of Large Radius Air Bending. The International **Journal of Advanced Manufacturing Technology**, V. 92. p. 3553-3569. 2017.

VORKOV, V., et al. Analytical Prediction of Large Radius Bending by Circular Approximation. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**. V. 140, nº. 12. p. 121010-0 a 121010-12. 2018.