

## **Avaliação do raio de dobra para o aço de alta resistência Quard 500 em matriz V**

### **Evaluation of bending radius for Quard 500 high strength steel in V matrix**

DOI:10.34117/bjdv8n5-005

Recebimento dos originais: 21/03/2022

Aceitação para publicação: 29/04/2022

#### **Josimar Teixeira dos Santos**

Mestrando em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Escola de Engenharia, Centro de Tecnologia

Endereço: Campus do Vale, Av. Bento Gonçalves, 9500 – Bairro Agronomia – setor 6

CEP: 91501-970 – Porto Alegre – RS

E-mail: josimartsantos@gmail.com

#### **Cristian Luiz Onzi**

Mestrando em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia (UFRGS), Centro de Tecnologia

Endereço: Campus do Vale, Av. Bento Gonçalves, 9500 – Bairro Agronomia – setor 6

CEP: 91501-970 – Porto Alegre – RS

E-mail: onzi.engenharia@gmail.com

#### **Rafael Pandolfo da Rocha**

Mestrando em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia (UFRGS), Centro de Tecnologia

Endereço: Campus do Vale, Av. Bento Gonçalves, 9500 – Bairro Agronomia – setor 6

CEP: 91501-970 – Porto Alegre – RS

E-mail: rafael.pandolfo@ufrgs.br

#### **Lirio Schaeffer**

Dr. Pesquisador

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Escola de Engenharia, Centro de Tecnologia

Endereço: Campus do Vale, Av. Bento Gonçalves, 9500 – Bairro Agronomia – setor 6

CEP: 91501-970 – Porto Alegre – RS

E-mail: schaeffer@ufrgs.br

#### **RESUMO**

O surgimento recente na indústria de aços com maior resistência tem dado aos componentes maior vida útil e menor peso aos equipamentos, porém, ainda pouco se sabe a respeito da conformação deste tipo de material. Este trabalho tem por objetivo analisar o raio de dobra para o aço Quard 500, com dureza de 500 HB e espessura de 4,76 mm, de modo que não ocorra o surgimento de trincas superficiais durante o processo de conformação. Serão ainda analisadas equações teóricas apresentadas pela literatura para

dar suporte aos projetos relacionados aos processos de dobramento de componentes, empregando aços de alta resistência mecânica. Para este experimento foram confeccionados três punções com diferentes Raios de Dobra, sendo eles de 16, 18 e 20 mm. A conformação foi realizada a frio e todas as amostras foram dobradas com o ângulo de 90° com auxílio de uma matriz V com abertura (W) de 50 mm. Em relação à direção de laminação as chapas foram dobradas transversalmente ao sentido de laminação. Os resultados obtidos comprovam ser possível a conformação deste material com um raio (mínimo) de 16 mm.

**Palavras-chave:** dobramento, alta resistência, 500 hb, raio de dobra, retorno elástico, força.

**ABSTRACT**



The recent appearance in the steel industry with higher strength has given the components a longer useful life and less weight to the equipment, but little is known about the conformation of this type of material. This work aims to analyze the bending radius for Quard 500 steel, with hardness of 500 HB and thickness of 4.76 mm, so that no surface cracks occur during the forming process. Theoretical equations presented in the literature will also be analyzed to support projects related to component bending processes, using high mechanical strength steels. For this experiment three punctures were made with different Bend Rays, being them of 16, 18 and 20 mm. The conformation was cold made and all samples were bent with an angle of 90° with the help of a V-matrix with opening (W) of 50 mm. In relation to the direction of rolling, the plates were bent transversally to the direction of rolling. The results obtained prove that it is possible to form this material with a radius (minimum) of 16 mm

**Keywords:** bending, high strength, 500 hb, bending radius, spring back, force.

1 INTRODUÇÃO

A tabela 1 indica alguns dos principais processos de conformação empregados na indústria atualmente. Em geral esses processos são realizados através de forças de compressão e/ou tração, a conformação também pode ocorrer em temperatura ambiente ou a quente. A tabela 1 informa se o processo é realizado através de forças de compressão ou tração, assim como, se o mesmo é realizado a frio ou a quente.

Tabela 1 – Processos de conformação mais comuns [2].

Processo	Laminação	Trefilação	Extrusão	Forjamento	Estampagem (profunda)	Dobrimento
Força	Compressão	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
	Tração	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM
Temperatura	Quente	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM
	Frio	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Ilustração						
Produtos	Placas Chapas Barras Perfis	Barras Arames Fios Tubos	Barras Tubos Perfis	Peças pequenas e grandes forjadas	Peças de chapas estampadas	Peças de chapas e tiras dobradas

Entre os processos indicados na tabela acima, destaca-se o Processo de Dobramento (figura 1), geralmente realizado por dobradeiras com auxílio de uma matriz e um punção, onde é preciso levar em conta alguns parâmetros: o raio de dobra ou curvatura ( $R$ ), a elasticidade do material, ângulo de dobra ( $\alpha$ ), espessura da chapa ( $s$ ) entre outros [1]. O processo de dobramento pode ser dividido em duas categorias: dobramento a frio e dobramento a quente, sendo o primeiro mais usual na indústria, já o processo a quente é indicado para chapas com espessuras maiores que 4,76 mm ou para materiais com maior resistência [1].

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Processo de Dobramento (figura 1) vem sendo aplicado na indústria há muitos anos, trata-se de uma técnica comum, porém os estudos realizados nessa área, voltados aos aços de alta resistência, são relativamente recentes [3].

Figura 1 – Processo de dobramento de uma chapa [4].



O dobramento ocorre através da deformação plástica que um determinado material sofre. Entre os métodos de estampagem, este apresenta grande versatilidade podendo obter peças com ângulos que variam de  $180^\circ$  até o ângulo dimensionado para a abertura da matriz. Porém, com o desenvolvimento de novos materiais com maior resistência e menor conformabilidade, se torna ainda mais difícil a fabricação de peças dobradas a frio, principalmente quando se deseja obter um Raio de dobra ( $R$ ) pequeno [5].

O processo de dobramento se caracteriza quando a chapa é dobrada através da força exercida pela prensa em decorrência da força empregada pelo punção, sendo a chapa pressionada contra a matriz, assumindo assim, a sua forma final [6], quando se

desconsidera o Retorno Elástico. Conhecer o raio mínimo de dobra ( $R_{min}$ ) é fundamental para realizar esse tipo de processo, de modo que não ocorram trincas durante o dobramento.

## 2.1 RAIOS MÍNIMOS DE DOBRA

Para que se evite trincas na face externa o Raio de Dobra ( $R$ ) deverá possuir um valor igual ou superior ao Raio Mínimo ( $R_{min}$ ). O Raio Mínimo de dobramento nada mais é do que o limite de conformação do material, ou seja, o menor raio que a chapa pode ser dobrada sem a ocorrência de trincas [7]. Este, em geral, é apresentado como um valor múltiplo da espessura da chapa, como por exemplo,  $3 \times s$  (três vezes a espessura da chapa) [7]. Por isso, é um dos principais parâmetros visando o dobramento de uma peça, sendo definido de acordo com o tipo de metal a ser dobrado assim como sua espessura. Quanto maior a dureza do material, maior também deverá ser o raio mínimo de dobra [8].

Para chapas de alta resistência com espessuras finas, se recomenda que o Raio mínimo ( $R_{min}$ ) de dobramento seja igual ou maior que  $5 \times s$  (cinco vezes a espessura da chapa) [7]. O Raio mínimo não pode ser considerado um parâmetro preciso, embora, existem equações que consideram até mesmo a redução de área ( $q$ ) encontrada no ensaio de tração. Caso ( $q$ ), seja menor que 0,2 pode-se desprezar o deslocamento da linha neutra, desta forma o Raio mínimo ( $R_{min}$ ) de dobra será encontrado pela equação 1. No caso onde a redução de área ( $q$ ) durante o ensaio de tração, é maior que 0,2, deverá ser considerado o deslocamento da linha neutra, deste modo, o Raio mínimo ( $R_{min}$ ) para dobramento será dado pela equação 2. Para as equações 1 e 2, é necessário conhecer a espessura da chapa ( $s$ ). A redução de área ( $q$ ) é obtida pela equação 3 através do ensaio de tração [7].

$$\frac{R_{min}}{s} = \frac{1}{2q} - 1 \quad \text{Eq (1)}$$

$$\frac{R_{min}}{s} = \frac{(1 - q)^2}{2q - q^2} \quad \text{Eq (2)}$$

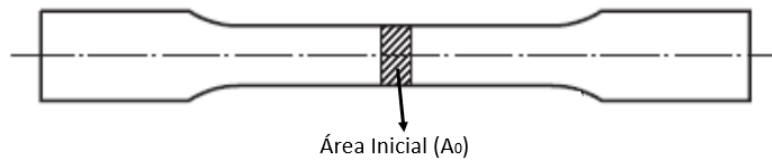
$$q = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \quad \text{Eq (3)}$$

Onde:

$A_0$  = Área inicial (Figura 2) do corpo de prova antes do ensaio de tração [ $\text{mm}^2$ ];

$A_f$  = Área final do corpo de prova após o ensaio de tração [ $\text{mm}^2$ ].

Figura 2 – Área inicial do corpo de prova antes do ensaio de tração.



Além das equações citadas acima, o Raio mínimo de dobra pode também ser encontrado pelas equações 4 e 5. [8], [3].

$$R_{min} = \frac{s * E}{2 * \sigma_e} \quad \text{Eq (4)}$$

$$R_{min} = \frac{50. s}{Al} \cdot \frac{s}{2} \quad \text{Eq (5)}$$

Onde:

**s** = espessura da chapa [mm];

**E** = módulo de elasticidade do material [GPa];

**$\sigma_e$**  = tensão de escoamento [MPa];

**Al** = alongamento da chapa [-].

## 2.2 DIMENSIONAMENTO DA MATRIZ V

O dimensionamento da matriz se dá principalmente por dois fatores: a abertura da matriz (**W**) e o ângulo de abertura, ambos indicados na figura 1. A largura (**W**) da matriz, pode variar entre quinze a vinte vezes a espessura do material, de acordo com a equação 6 [9]. Já a equação 7, determina a abertura da matriz como  $8 \times s$  [8].

$$W = 15 a 20 * s \quad \text{Eq (6)}$$

$$W = 8. s \quad \text{Eq (7)}$$

A empresa fabricante do material sugere na tabela 3, a relação abaixo (equação 8), para dimensão da abertura da matriz quando uma chapa com espessura inferior a 8 mm é dobrada transversalmente ao sentido de laminação [10].

$$W = 10. s \quad \text{Eq (8)}$$

## 2.3 QUARD 500

A família de aço Quard é conhecida pela sua alta resistência ao desgaste, que proporciona ao produto um acréscimo relevante de sua vida útil, muito utilizado em equipamentos de britagem e moagem, peneiras, pás carregadeiras, entre outros. Além disso, o uso desse aço especial permite uma redução significativa no peso final do

componente. Para este trabalho será utilizado o Quard 500 fabricado pela NLMK, a tabela 2 apresenta a composição química deste material. [10]

Tabela 2 – Composição química do Quard 500 [10].

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
0,28	0,80	1,60	0,025	0,01	1,00	1,00	0,50	0,005

Quanto à dureza o fabricante informa que toda linha Quard possui um controle apurado de sua faixa de dureza, sendo realizados ensaios a cada corrida de 40 toneladas. O aço utilizado neste trabalho a faixa de dureza que a NLMK indica em seu catálogo varia de 470 a 530 HB, ou seja, o Quard 500 possui uma tolerância quanto à dureza de +/-30 HB. Na tabela 3, a fabricante apresenta a relação para o raio mínimo de dobra ( $R_{min}$ ), assim como, a abertura da matriz ( $W$ ) de acordo com a espessura ( $s$ ), para que o mesmo seja conformado [10].

Tabela 3 – Relação para dimensionamento do raio de dobra e abertura da matriz [10].

Espessura (mm)	Transversal à laminação $R_{min} =$	Longitudinal à laminação $R_{min} =$	Abertura transversal $W =$	Abertura longitudinal $W =$
$s < 8.0$	$s \times 3.5$	$s \times 4.5$	$s \times 10$	$s \times 12$
$8 \leq s \leq 20$	$s \times 4.5$	$s \times 5$	$s \times 12$	$s \times 14$
$s > 20$	$s \times 7$	$s \times 8$	$s \times 16$	$s \times 18$

A NLMK através de seu catálogo ainda indica outras propriedades importantes a respeito do Quard 500 conforme indicado na tabela 5.

Tabela 4 – Propriedades mecânicas [10].

Limite de escoamento [Mpa]	Limite de ruptura Transversal [Mpa]	Alongamento [%]	Efeito mola [°]
1500	1700	8	12 a 18

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

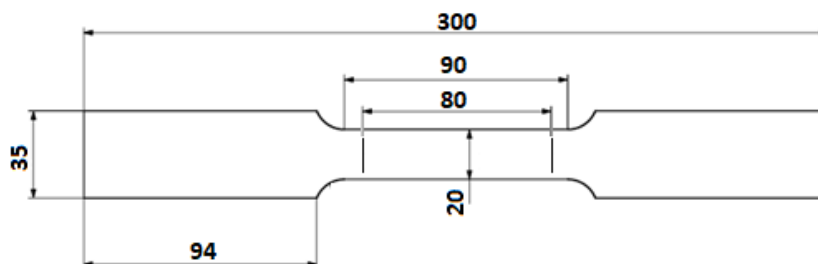
#### 3.1 ENSAIO DE TRAÇÃO

Os ensaios de tração foram realizados na máquina universal de ensaios MTS Landmark, presente no Laboratório de Ensaios Mecânicos da Unisinos. Esta máquina atinge uma força máxima de 190 kN, com deslocamento de até 150 mm. O ensaio de

tração foi realizado para que fosse possível identificar o limite de escoamento real, assim como, a redução de área (q) do material.

Os corpos de prova para a realização dos ensaios foram determinados através da ABNT NBR ISO 6892-1, a velocidade para a realização do ensaio foi de 0,02 mm/s, e se manteve constante, conforme indicado pela norma [12]. Para a fabricação, fez-se necessário o desenho técnico (figura 3) visando à manufatura destes componentes. Foram realizados 3 ensaios a temperatura ambiente.

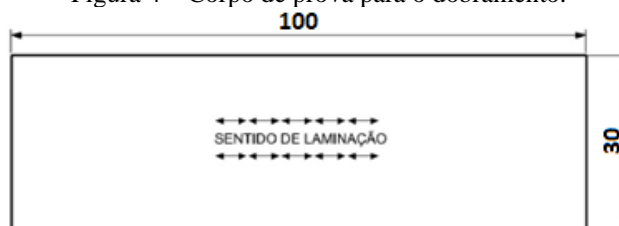
Figura 3 – Corpo de prova para o ensaio de tração.



### 3.2 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA O DOBRAMENTO

A elaboração dos corpos de prova (figura 4) com dimensão de 4,76 x 30 x 100 (espessura x largura x comprimento), seguiu os parâmetros determinados na ABNT NBR ISO 7438 [11]. Para que todas as dobras pudessem ser efetuadas perpendiculares ao sentido de laminação, foi inserido uma nota no desenho.

Figura 4 – Corpo de prova para o dobramento.

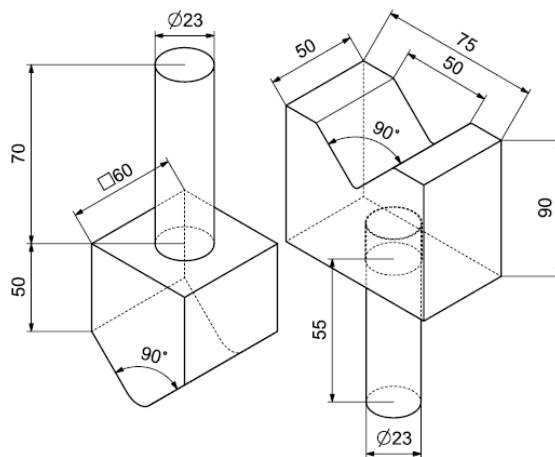


### 3.3 PROJETO E FABRICAÇÃO DO FERRAMENTAL PARA O PROCESSO DE DOBRAMENTO EM V

A fabricação da matriz, assim como dos punções, foram realizadas em maior parte dentro da própria universidade. Todo processo de usinagem e soldagem foi realizado no Laboratório de Usinagem da Unisinos. A matéria prima utilizada para a fabricação destas ferramentas foi o SAE 1020.

Primeiro, foram usinados os blocos necessários para a fabricação dos punções, tal como, o bloco para a obtenção da matriz. Após a usinagem dos blocos, foi realizado o corte em V na matriz, bem como, o corte do ângulo de 90° e o raio de cada um dos punções através de uma máquina de eletroerosão a fio. Na sequência, as peças foram usinadas, onde receberam um furo com 23,5 mm de diâmetro para a fixação da haste. Por fim, foi usinada no torno uma haste com 23 mm de diâmetro e 70 mm de comprimento, sendo a haste da matriz fabricada com comprimento menor de 55 mm para aproveitamento do material. O projeto do ferramental pode ser observado através da figura 6

Figura 5 – Processo de fabricação do ferramental.



### 3.4 DOBRAMENTO DAS AMOSTRAS

Todas as peças foram dobradas no sentido perpendicular à laminação, sendo que a velocidade de dobramento foi determinada de acordo com a ABNT NBR ISO 7438, igual a 1mm/s. A matriz V foi fixada na mesma máquina utilizada no ensaio de tração, assim como, os punções conforme indicado na figura 6, para cada raio de dobra foram dobrados três corpos de prova. A matriz foi marcada com caneta permanente de modo que ajudasse a deixar as amostras centralizadas, e na mesma posição.



Figura 6 – Ferramental utilizado para o dobramento.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos durante a realização deste trabalho.

### 4.1 ENSAIO DE TRAÇÃO

A figura 7, mostra os resultados (tensão versus deformação relativa) obtidos para os ensaios com a temperatura ambiente. Como já mencionado foram realizados três ensaios, a fim de encontrar as tensões, o alongamento e a redução de área do material, a tabela 5 apresenta a média dos resultados encontrados nos ensaios, para assim determinar o raio mínimo de dobra através das equações sugeridas no tópico 2.1.

Figura 7 –(a) Tensão versus deformação relativa Corpo de prova 1; (b) Tensão versus deformação relativa Corpo de prova 2; (c) Tensão versus deformação relativa Corpo de prova 3.

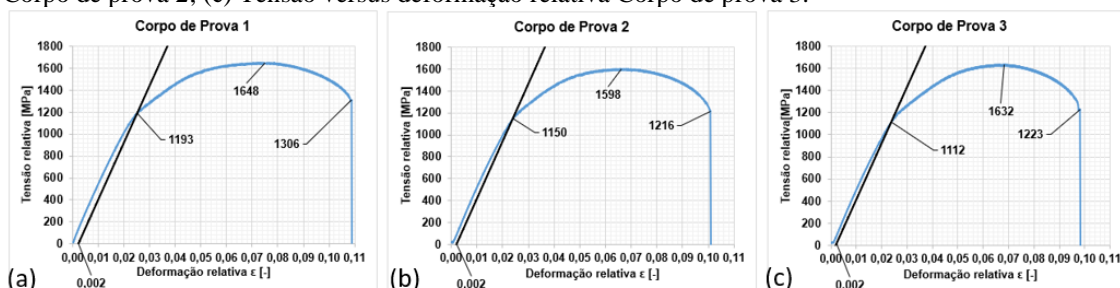


Tabela 5 –Média dos resultados encontrados nos ensaios de tração.

Corpo de prova (CP)	Tensão de escoamento [MPa]	Tensão de escoamento média [MPa]	Tensão Maxima [MPa]	Tensão Maxima média [MPa]	Tensão Ruptura [MPa]	Tensão Ruptura média [Mpa]	Alongamento [%]	Alongamento [%] médio	Redução de área q [-]	Redução de área q [-] média
CP1	1193	1152	1648	1626	1306	1248	10,9%	10,3%	0,46	0,41
CP2	1150		1598		1216		10,1%		0,40	
CP3	1112		1632		1223		9,8%		0,39	

Com relação ao tipo de rompimento ocorrido ao final do ensaio de tração, todas as amostras foram fraturadas na mesma região próximo ao raio da seção maior com a

seção menor conforme evidenciado na figura 8. Isso pode ter ocorrido devido ao corte das peças ter sido realizado por oxicorte, já que esse tipo de corte não possui um acabamento superficial excelente. Logo, em virtude da mudança de seção somado com um acabamento pode ter deixado alguma imperfeição no material, o que resultou a fratura nesta região. O que explicaria o fato de todas as amostras romperem próximas ao raio de concordância.

Figura 8 – Amostras após os ensaios de tração



#### 4.2 DEFINIÇÃO DOS RAIOS DE DOBRAMENTO

Conhecida a redução de área ( $q$ ), a tensão de escoamento, assim como, a tensão máxima e o alongamento do material, pode-se então encontrar o raio de dobra pelas equações sugeridas no tópico 2.1. Os resultados para estas equações podem ser vistos na tabela 6.

Tabela 6 – Resultados para o raio mínimo de dobra.

Equação 2 Dieter (1981) (mm)	Equação 4 Schaeffer (2016) (mm)	Equação 5 Palmeira (2005) (mm)	NLMK tabela 3 (mm)
2,49	427,71	55,12	16,66

Nota-se que os resultados obtidos pelas equações acima não se aproximam uma das outras, pelo contrário, os valores encontrados se distanciam muito de uma equação para outra. É importante ressaltar que os autores de onde essas equações foram tiradas não deixam claro se elas servem para todo tipo de dobramento, no trabalho em questão foi realizado o dobramento do tipo V, e durante as pesquisas não foi encontrada uma equação para o raio mínimo de dobra própria para este tipo de dobramento.

### 4.3 FERRAMENTAL: FABRICAÇÃO DA MATRIZ V E PUNÇÕES

Para que fosse possível realizar todos os dobramentos, necessitou-se a fabricação da matriz e dos punçães conforme já descrito no t3pico 3.3. Os valores obtidos na tabela 6 para as equa33es 2, 4 e 5 como j3 descrito no t3pico 3.3. Os valores obtidos na tabela 6 para as equa33es 2, 4 e 5 como j3 mencionado obtiveram valores bem distantes do indicado pela NLMK, por isso para este trabalho se optou em usar como par3metro a indica33o do fabricante onde para a espessura de 4,76 mm conforme evidenciado na tabela 6 o raio m3nimo de dobra deve ser de 16,66 mm.

A partir disto, optou-se por fabricar os punçães partindo de um Rp (raio do punç3o) 16 mm, al3m de t3mb3m ser testado outros dois raios maiores, sendo eles de 18 e 20 mm, sempre com intervalos de 2 mm devido ao custo e ao tempo para manufatura destes componentes.

A matriz utilizada neste trabalho foi fabricada seguindo a rela33o indicada na tabela 3, encontrando uma abertura da matriz de 47,6 mm, optou-se ent3o, por utilizar 50 mm, facilitando assim, a fabrica33o do componente e o 3ngulo determinado para a conforma33o de 90°. A matriz e os punçães fabricados podem ser vistos na figura 9

$$\frac{W}{s} = 10 \rightarrow W = 10 * 4,76 \rightarrow W = 47,6 \quad \text{Eq (8)}$$

Figura 9 – Ferramental fabricado

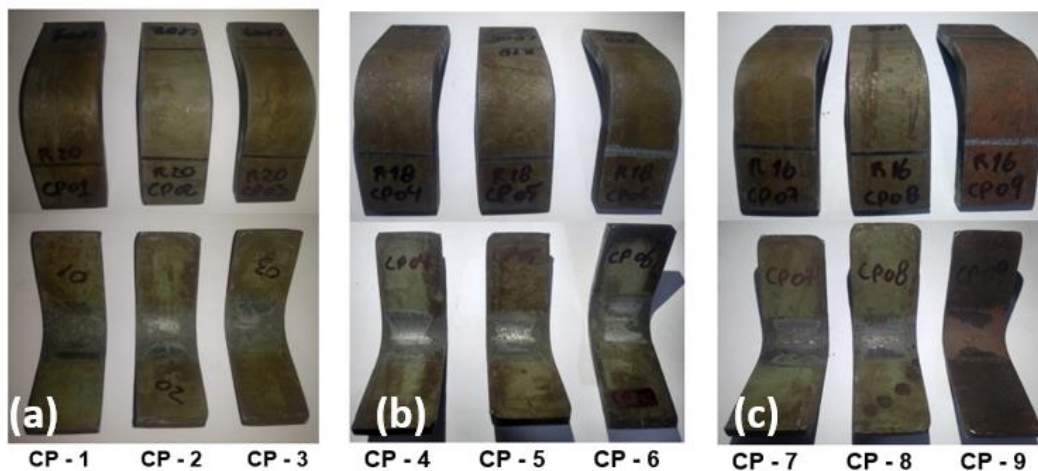


### 4.4 DOBRAMENTO DAS AMOSTRAS

Os corpos de prova CP1, CP2 e CP3 dobrados com raio de 20 mm n3o obtiveram trincas na superf3cie, conforme pode-se verificar na figura 10(a). Da mesma forma, as amostras CP4, CP5 e CP6, ao serem conformadas atrav3s do punç3o com 18 mm de raio n3o apresentaram fissuras na superf3cie, conforme figura 10(b). Por 3ltimo, foi utilizado o raio de 16 mm para dobramento a frio, foram dobradas as amostras CP7, CP8 e CP9,

mas nenhuma das amostras apresentou trincas na superfície, conforme indicado na figura 10(c).

Figura 10 – (a) Amostras conformadas com Rp 20 mm; (b) Amostras conformadas com Rp 18 mm; (c) Amostras conformadas com Rp 16 mm.



## 5 CONCLUSÃO

A elaboração deste trabalho foi fundamental para aprimorar os conhecimentos a respeito do processo de conformação de dobramento em chapas de alta resistência ao desgaste, sendo possível concluir que o ferramental desenvolvido para este trabalho atendeu perfeitamente o objetivo. Viabilizando o dobramento com os variados punções. Além disso, a matriz V com abertura de 50 mm e ângulo de 90° mostrou ser eficaz.

O Raio mínimo de dobra ideal, para o dobramento a frio de um aço de alta resistência ao desgaste com 500 HB sem que houvesse trincas na superfície durante o processo, foi o de 16 mm. O raio de dobra indicado pelo fabricante mostrou-se adequado para este tipo de material quando dobrado a frio.

Quanto as equações utilizadas para se obter o raio mínimo de dobra, não foi possível determinar uma equação ideal para o dobramento do tipo V para o material utilizado neste trabalho, visto que os valores obtidos não se aproximaram dos ensaios práticos.

## REFERÊNCIAS

- [1] MARCOS, F. Corte e dobragem de chapas. Ed Hemun 2007.
- [2] FILHO, ETTORE BRESCIANI; DA SILVA, IRIS BENTO; BATALHA, GILMAR FERREIRA; BUTTON, SÉRGIO TONINI. CONFORMAÇÃO PLÁSTICA DOS METAIS. 6. ed. São Paulo: Unicamp, 2011. 254 p. ISBN 978-85-86686-64-1. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~sergio1/CONFORMACAOPLASTICADOSMETAIS.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2020. SCHAEFFER, Lirio. Manufatura por conformação mecânica. Porto Alegre: IMPRENSA LIVRE, 2016.
- [3] SSAB. HARDOX. DUREZA E RESISTÊNCIA, [s. l.], ca. 2019.
- [4] FREES, MONIQUE VALENTIM DA SILVA. AVALIAÇÕES SOBRE O PROCESSO DE DOBRAMENTO DO AÇO NBR 6656 LNE 380. Orientador: Prof. Dr. Lirio Schaeffer. 2017. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/163428>. Acesso em: 19 ago. 2020.
- [5] DIETER, GEORGE E. Metalurgia Mecânica, 2ª edição. Ed Guanabara, Rio de Janeiro, 1981.
- [6] PALMEIRA, Alexandre. PROCESSOS DE DOBRAMENTO & CALANDRAGEM. UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO: [s. n.], 2005. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/Thrunks/cap-7-dobramento>. Acesso em: 15 maio 2019
- [7] JUNIOR, Ivar; CAVERSAN, Elpidio. TECNOLOGIA DE ESTAMPAGEM 2. São Paulo, 2012. Disponível em: [http://www.eterfs.com.br/material/mecanica/APOSTILA\\_DE\\_ESTAMPO\\_FATEC-220813-3.pdf](http://www.eterfs.com.br/material/mecanica/APOSTILA_DE_ESTAMPO_FATEC-220813-3.pdf). Acesso em: 2 jul. 2019.
- [8] NLMK. Aços de alta resistência ao desgaste Quard 500, [s. l.], ca. 2019. Disponível em: [https://innova.vix.br/wp-content/uploads/2018/09/Ficha-tecnica\\_QUARD-500-1.pdf](https://innova.vix.br/wp-content/uploads/2018/09/Ficha-tecnica_QUARD-500-1.pdf). Acesso em: 22 out. 2019.
- [9] ABNT, NBR ISO. 7438.(2016). Materiais metálicos: Ensaio de Dobramento.
- [10] ABNT, NBR ISO. 6892-1. (2013). Materiais metálicos: Ensaio de Tração-Parte, v. 1.
- [11] SCHAEFFER, Lirio; NUNES, Rafael; BRITO, Alberto. Tecnologia da estampagem de chapas metálicas. Porto Alegre: IMPRENSA LIVRE, 2017.