

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ  
DANIEL LUCAS MENDES DE TOLEDO  
MATHEUS HENRIQUE DE CARVALHO OLIVEIRA**

## **LAMINAÇÃO E A IMPORTÂNCIA NA ESTAMPARIA**

**Taubaté - SP  
2018**

**DANIEL LUCAS MENDES DE TOLEDO  
MATHEUS HENRIQUE DE CARVALHO OLIVEIRA**

## **LAMINAÇÃO E A IMPORTÂNCIA NA ESTAMPARIA**

Trabalho de Graduação apresentado para obtenção do Certificado de Graduação do curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Dr. Aluísio Pinto da Silva

Coorientador: Prof. Me. Ivair Alves dos Santos

**Taubaté – SP  
2018**

**SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU**

O4821 Oliveira, Matheus Henrique de Carvalho  
Laminação e a importância na estampa / Matheus Henrique de  
Carvalho Oliveira; Daniel Lucas Mendes de Toledo. -- 2018.  
32 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de  
Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.  
Orientação: Prof. Dr. Alúcio Pinto da Silva, Departamento de  
Engenharia Mecânica.  
Coorientação: Prof. Dr. Ivair Alves dos Santos, Departamento de  
Engenharia Mecânica.

1. Ensaio. 2. Estampagem. 3. Laminação. 4. Simulações. I. Título.  
II. Toledo, Daniel Lucas Mendes de. III. Graduação em Engenharia  
Mecânica.

CDD – 620.1

Ficha catalográfica elaborada por **Shirlei Righeti – CRB-8/6995**

DANIEL LUCAS MENDES DE TOLEDO  
MATHEUS HENRIQUE DE CARVALHO OLIVEIRA

## LAMINAÇÃO E A IMPORTÂNCIA NA ESTAMPARIA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO APROVADO COMO PARTE  
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA MECÂNICA

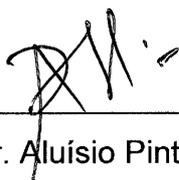
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



---

Prof. Me. Fábio Henrique Fonseca Santejani  
Coordenador de Trabalho de Graduação

### BANCA EXAMINADORA:



---

Prof. Dr. Aluísio Pinto da Silva  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



---

Prof. Me. Ivair Alves dos Santos  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



---

Prof. Me. Antônio Carlos Tenini  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

17 de Outubro de 2018

Dedicamos este trabalho a nossos pais, familiares e a Deus.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaríamos de agradecer a Deus pelo advento da vida, a nossas famílias e amigos próximos.

Agradecemos também à Universidade de Taubaté – UNITAU por esses 5 anos de estudo e formação profissional e especialmente ao professor Aluísio pelos anos em que nos ensinou e por aceitar nos orientar neste trabalho.

## RESUMO

Laminação é o processo utilizado com maior frequência quando se pensa na conformação de chapas, que consiste na deformação de um metal pela passagem entre dois cilindros rotatórios que giram em sentidos opostos, designados por cilindro de laminação. O material tem sua espessura reduzida de acordo com a passagem por meio dos deformadores e seu comprimento prolongado. Esse processo é comum na fabricação de peças em processos seriados, como por exemplo fabricação de tubos, estampados e perfilados, onde conseguimos obter matéria-prima em processos a frio e a quente, com espessuras que variam de 0,3 a 25 mm. O intuito do trabalho é estudar de forma objetiva e compreensiva os processos de laminação, os tipos, a importância e aplicação no processo de estamparia, bem como uma explicação do sentido de laminação de uma chapa (blank) e o seu comportamento na fabricação de estampados. A metodologia utilizada para comprovação do trabalho foram os resultados obtidos em ensaios executados em laboratórios metalurgico e quimico, bem como simulações de estampagem com zonas criticas de tensões em peças. Depois da execução e verificação dos resultados obtidos nos ensaios, é possível observar notórias variações quando se trata do tipo de laminação, o sentido e aplicação na peça a ser conformada, concluindo que as variáveis no processo de obtenção da matéria prima é de extrema importância para segurança do estampado e aplicação em um conjunto (por exemplo, veículos).

**Palavras-chave:** Laminação, Estampagem, Ensaio, Simulações.

## **ABSTRACT**

Rolling is the most used process when thinking about sheets forming, which consists in the deformation of a metal when passed through one pair of rotating rollers called rolling cylinders. The material has its thickness reduced as it passes between the mills and has its length increased. This process is very common in the fabrication of parts in serial processes, for example pipes, stamped parts and rolled forming parts where we can obtain raw material in hot and cold processes with thicknesses between 0,3 and 25 mm. The target of this work is to study objectively and in a comprehensive form the rolling process, its types, the importance and application in the stamping process, as well as an explanation of the lamination direction of a sheet (blank) and its behavior in stamped parts fabrication. The methodology used to prove the work was the results obtained in essays executed in metallurgical laboratories and chemicals, as well as stamping simulations with critical stress zones in parts. After the execution and verifications of results obtained at the essays, it is possible to realize notorious variations when it comes to type of rolling process, its direction and the application in the part to be conformed, concluding that the variables in the process which obtain the raw material is extremely important in the security of the part and in its application in an assembly (for example, vehicles).

**Keywords:** Rolling, Stamping, Essays, Simulations.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PROCESSO DE LAMINAÇÃO.....	13
FIGURA 2 - BOBINA A QUENTE.....	16
FIGURA 3 - PROCESSO DE LAMINAÇÃO A FRIO.....	16
FIGURA 4 - OPERAÇÕES DE ESTAMPAGEM.....	17
FIGURA 5 - FERRAMENTA DE ESTAMPAGEM.....	18
FIGURA 6 - FERRAMENTA PROGRESSIVA.....	19
FIGURA 7 - FERRAMENTA TRANSFER.....	20
FIGURA 8 - CORPO DE PROVA PARA ENSAIO DE TRAÇÃO.....	21
FIGURA 9 - DIAGRAMA TENSÃO X DEFORMAÇÃO.....	21
FIGURA 10 - MÁQUINA PARA ENSAIO DE TRAÇÃO.....	22
FIGURA 11 - CORPO DE PROVA.....	24
FIGURA 12 - MÁQUINA DE TRAÇÃO EMIC.....	25
FIGURA 13 - RESULTADO DO ENSAIO DE TRAÇÃO NO SENTIDO TANSVERSAL .....	26
FIGURA 14 - RESULTADO DO ENSAIO DE TRAÇÃO NO SENTIDO LONGITUDAL.....	28
FIGURA 15 - SENTIDO TRANSVERSAL.....	29
FIGURA 16 - SENTIDO LONGITUDINAL.....	30

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - MATERIAIS PARA CILINDRO DE LAMINAÇÃO A QUENTE.....	14
QUADRO 2 - MATERIAIS PARA CILINDRO DE LAMINAÇÃO A FRIO.....	15
QUADRO 3 - NORMA VW50065.....	24
QUADRO 4 - ALONGAMENTO NO SENTIDO TRANSVERSAL.....	27
QUADRO 5 - ALONGAMENTO NO SENTIDO LONGITUDINAL.....	28

## SUMÁRIO

<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED. INTRODUÇÃO</b> .....	11
1.1 EXPLICAÇÃO DO TEMA .....	11
1.2 PROBLEMA .....	11
1.3 OBJETIVOS .....	11
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
2.1 INTRODUÇÃO .....	13
2.2 LAMINADORES .....	13
2.3 PROCESSOS DE LAMINAÇÃO.....	15
2.4 ESTAMPAGEM .....	17
2.5 TIPOS DE FERRAMENTAS DE ESTAMPAGEM.....	18
2.5.1 FERRAMENTAS PROGRESSIVAS.....	18
2.5.2 FERRAMENTAS TRANSFER.....	19
2.6 ENSAIOS .....	20
3 METODOLOGIA.....	22
3.1 TIPOS DE PESQUISA .....	22
3.2 ÁREA DE REALIZAÇÃO .....	22
3.3 POPULAÇÃO E AMOSTRA .....	22
3.4 INSTRUMENTAÇÃO.....	22
3.5 PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS .....	23
3.6 PROCEDIMENTO DE ANÁLISE DE DADOS .....	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	24
4.1 ENSAIO DE TRAÇÃO .....	24
4.1.1 CONDIÇÕES DE ENSAIO.....	24
4.1.2 ENSAIO DE TRAÇÃO NO SENTIDO TRANSVERSAL.....	26
4.1.3 ENSAIO DE TRAÇÃO NO SENTIDO LONGITUDINAL.....	27
4.2 SIMULAÇÃO DE ESTAMPAGEM.....	29
4.2.1 CONDIÇÕES PARA SIMULAÇÃO.....	29
4.2.2 SIMULAÇÃO DE ESTAMPAGEM NO SENTIDO TRANSVERSAL.....	29
4.2.3 SIMULAÇÃO DE ESTAMPAGEM NO SENTIDO LONGITUDINAL.....	30
5 CONCLUSÃO.....	31
6 REFERÊNCIAS.....	32

## **1 INTRODUÇÃO**

### **1.1 EXPLICAÇÃO DO TEMA**

A laminação é um processo de fabricação que consiste na redução da seção transversal de um material através da passagem por rolos cilíndricos chamados de rolos de laminação. Este processo pode ser dividido em dois tipos: Laminação a quente e a frio, cada qual com suas próprias características e especificações.

Para a laminação a quente são utilizados metais em altíssimas temperaturas, no caso do aço essa temperatura pode variar de 1.100°C a 1.300°C, outro ponto importante é que os esforços que os rolos laminadores exercem sobre o material a ser conformado são menores se comparados ao processo a frio. Porém, produtos que são gerados a partir dela têm como característica o pobre acabamento superficial, tolerâncias dimensionais amplas além de tender a baixa plasticidade a frio na conformação, no caso de estampados.

No processo a frio as chapas são de menores espessuras se comparadas com utilizadas na laminação a quente. Ela ocorre a temperatura ambiente e com ela se obtém materiais com tolerâncias mais apertadas e maior resistência no produto final.

### **1.2 PROBLEMA**

Para o processo de estamparia, o tipo de laminação e seu sentido impactam diretamente no resultado do produto conformado. Caso esses aspectos e características, dependendo do formato da peça, não sejam bem estudados e avaliados problemas de estampagem serão gerados como trincas, estiramentos e dimensionais fora do especificado.

### **1.3 OBJETIVOS**

Sabendo das dificuldades que a estamparia tem em relação às matérias primas laminadas e seu sentido, o intuito do trabalho é aprofundar no estudo entre

as diferenças das propriedades mecânicas entre sentidos de laminação de distintos materiais conformáveis e a aplicação e definição em um produto que contém regiões repuxadas/dobradas que exigem mais da MP (Matéria-Prima).

#### **1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

A pesquisa será dividida em duas partes em que será estudado e demonstrado a importância e o impacto do sentido de laminação na estamparia. Primeiramente, será analisada e estudada uma matéria prima específica e a aplicação em um produto que a exerce e em seguida será mostrado os resultados em um ensaio de tração que será feito em um laboratório metalúrgico. Após a verificação, será mostrado simulação de estampagem e suas zonas críticas aplicada na peça em questão, nos sentidos transversal e longitudinal da chapa a ser conformada que também será visualizada no laboratório através de ensaios.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para elaborar este trabalho, foram feitas pesquisas em diversas fontes para embasar todas as informações aqui apresentadas. Foram pesquisados assuntos como: O processo de laminação em si, os tipos de laminadores, os materiais que podem ser utilizados no processo, os tipos de laminação e o processo de estampagem e seus tipos.

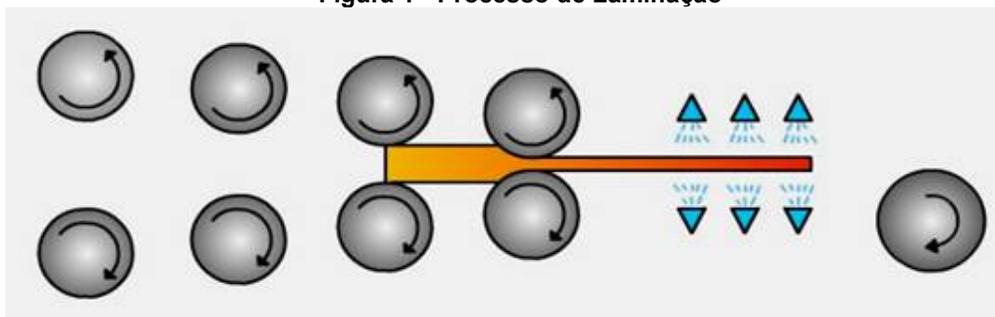
### 2.1 INTRODUÇÃO

O Processo de laminação, como já abordado anteriormente, caracteriza-se pela redução da seção transversal de um material através da aplicação de forças de compressão durante a passagem do mesmo pelos chamados cilindros laminadores.

É o processo de transformação mecânica de metais mais utilizado, pois apresenta alta produtividade e um controle dimensional do produto acabado que pode ser bastante preciso (KRELLING, ANAEL, 2006).

Na laminação o material sofre tensões elevadas, resultante da ação dos rolos e tensões de cisalhamento superficiais, provindas do atrito entre os rolos e o material. O atrito também é responsável por conduzir a chapa para o próximo cilindro e assim sucessivamente (BORGES, MARCOS, 2010).

Figura 1 - Processo de Laminação



Fonte: [http://mmborges.com/processos/Conformacao/cont\\_html/laminacao.htm](http://mmborges.com/processos/Conformacao/cont_html/laminacao.htm)

### 2.2 LAMINADORES

Os laminadores são projetados e dimensionados de acordo com o material a ser laminado e de acordo com cada etapa do processo.

Os cilindros têm papel fundamental na laminação pois afetam diretamente a produtividade do laminador e indiretamente o produto laminado.

Os cilindros para laminação a quente e a frio diferem-se quanto a composição química de seu material. O desempenho dos mesmos está ligado às seguintes propriedades: Resistência mecânica, tenacidade, resistência ao desgaste e à fadiga térmica no caso de laminação a quente (BORGES, MARCOS, 2010).

Os cilindros de laminação a quente podem ser feitos de ferro fundido, adamite, ferro branco de alto cromo ou ferro fundido branco, cada qual com sua própria composição química e utilizado em um período diferente da indústria de laminação (SERANTONI, CLAUDIA, 2011).

**Quadro 1 - Materiais para cilindro de laminação a quente**

<b>Material</b>	<b>Composição (% em peso)</b>	<b>Microestrutura</b>	<b>Período</b>
Ferro fundido indefinido	C: 3,0 – 3,4 Ni: 4 - 5 Cr < 2 Mo < 1	Matriz com martensita e austenita retida Carboneto eutético $M_3C$ Grafita em grumo	1950-1980
Adamite	C: 0,7 – 2,0 Ni: 1,2 – 1,5 Cr < 2 Mo < 1	Martensita revenida	1950-1980
Ferro branco de alto cromo	C: 2 - 3 Ni: 1 - 2 Cr: 10 - 18 Mo: 1 - 3	Matriz de martensita revenida Carboneto eutético $M_7C_3$	1980-
Ferro fundido branco multicomponente	C: 1,5 – 2,5 Cr: 4 - 7 Mo: < 5 V: 4 - 8 W: < 5	Matriz de martensita revenida Carbonetos eutéticos MC, $M_2C$ e $M_7C_3$	1990-

**Fonte: Portfólio Gerdau (2011)**

Os cilindros para laminação a frio são fabricados de aços forjados, com diferentes taxas de Cromo em sua composição e de aço rápido.

Quadro 2 - Materiais para cilindro de laminação a frio

Material	Composição (% em peso)	Microestrutura	Período
Aço forjado 1,8%Cr convencional	C: 0,7 – 1,0Cr: 1,6 – 2,0Mo: 0,2 – 0,5	Matriz com martensita com carbonetos secundários finamente dispersos	1950-1970
Aço forjado 3%Cr convencional/ESR	C: 0,7 – 1,0Cr: 2,0 – 4,0Mo: 0,2 – 0,5	Matriz com martensita com carbonetos secundários finamente dispersos	1965-
Aço forjado 5%Cr convencional/ESR	C: 0,7 – 1,0Cr: 4,0 – 6,0Mo: 0,2 – 0,5	Matriz com martensita com carbonetos secundários finamente dispersos	1975-
HSS/SHSS ESR	C: 0,8 – 1,5Cr: 4 – 10Mo: 0,5 – 3V: 0,5 – 3	Matriz de martensita revenidaCarbonetos eutéticos MC,M2C e M7C3	2000-

Fonte: Portfólio Gerdau, 2011

### 2.3 PROCESSOS DE LAMINAÇÃO

A Laminação a quente modifica por completo a estrutura bruta de fundição e refina o grão do metal que foi laminado, melhorando suas propriedades mecânicas e metalúrgicas, no sentido da laminação (SERANTONI, CLAUDIA, 2011).

Este processo é utilizado na denominada operação de desbaste, quando se quer obter reduções bruscas de espessura na chapa, cerca de 200mm até 50mm de espessura além de ser utilizada na limpeza superficial primária e secundária de carepa do material.

As temperaturas de trabalho começam com o aço a 1.100 °C a 1.300 °C e conforme o aço é trabalho essa temperatura cai para em torno de 700 °C a 900 °C, mantendo-se sempre acima do ponto crítico do aço a fim de que sejam produzidos grãos de ferrita uniformes (GALVAMINAS, 2017).

**Figura 2 - Bobina a quente**

Fonte - <http://www.galvaminas.com.br/blog/chapas-de-aco-laminadas-frio-quente/>

A laminação a frio é uma etapa posterior a de laminação a quente e que é capaz de oferecer produtos com excelente acabamento superficial, tolerâncias dimensionais mais apertadas em chapas de menor espessura, microestrutura refinada e propriedades mecânicas adequadas para os processos posteriores como dobramento, calandragem, furação e estampagem (GALVAMINAS, 2017).

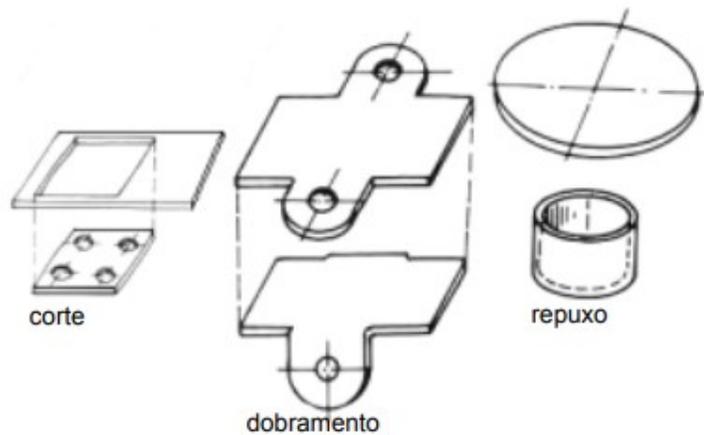
**Figura 3 - Processo de laminação a frio**

Fonte - <http://lealfer.com.br/br/produtos/laminados-revestidos>

## 2.4 ESTAMPAGEM

Por estampagem entende-se o processo de fabricação de peças, através do corte ou deformação de chapas em operação de prensagem a frio. Emprega-se a estampagem de chapas para fabricar-se peças com paredes finas feitas de chapa ou fita de diversos metais e ligas. As operações de estampagem podem ser resumidas em três básicas: corte, dobramento e embutimento ou repuxo (PENTEADO, 2012, p. 52).

**Figura 4 - Operações de estampagem**

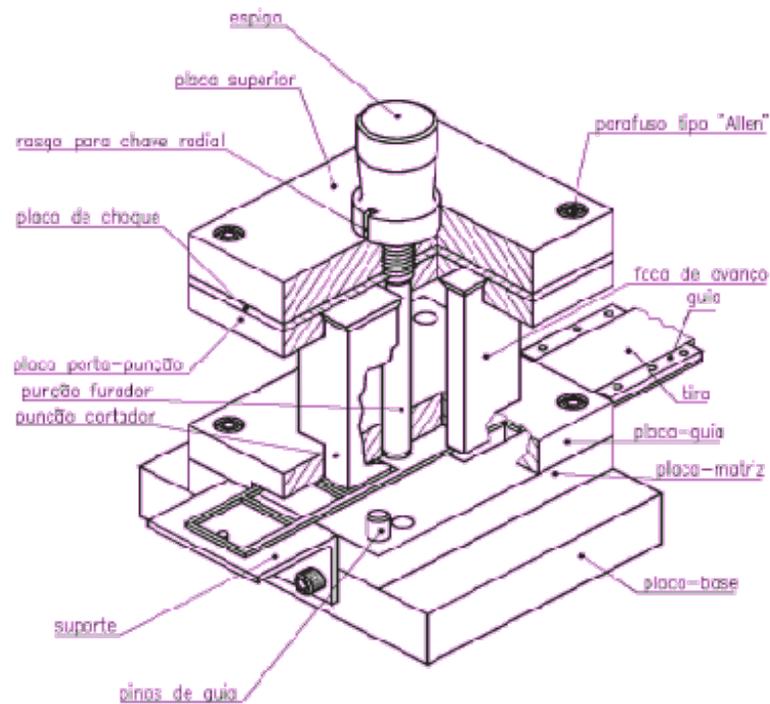


Fonte - <http://bmalbert.yolasite.com/resources/Estampagem.pdf>

Estampagem é o processo principal que será abordado no trabalho junto com o sentido de laminação. Tal processo pode ser distribuídos e pensados em três tipos principais: corte, dobra e repuxo.

É se pensando nesse tipo de operação quando se requer alta produção de peças em série e preços mais baixos, além de ser muito vantajoso quando se fazem necessárias peças com alta resistência, por causa da conformação e o encruamento, e a uniformidade na produção, devido à baixa variação dimensional (PENTEADO, FERNANDO, 2013).

Figura 5 - Ferramenta de Estampagem



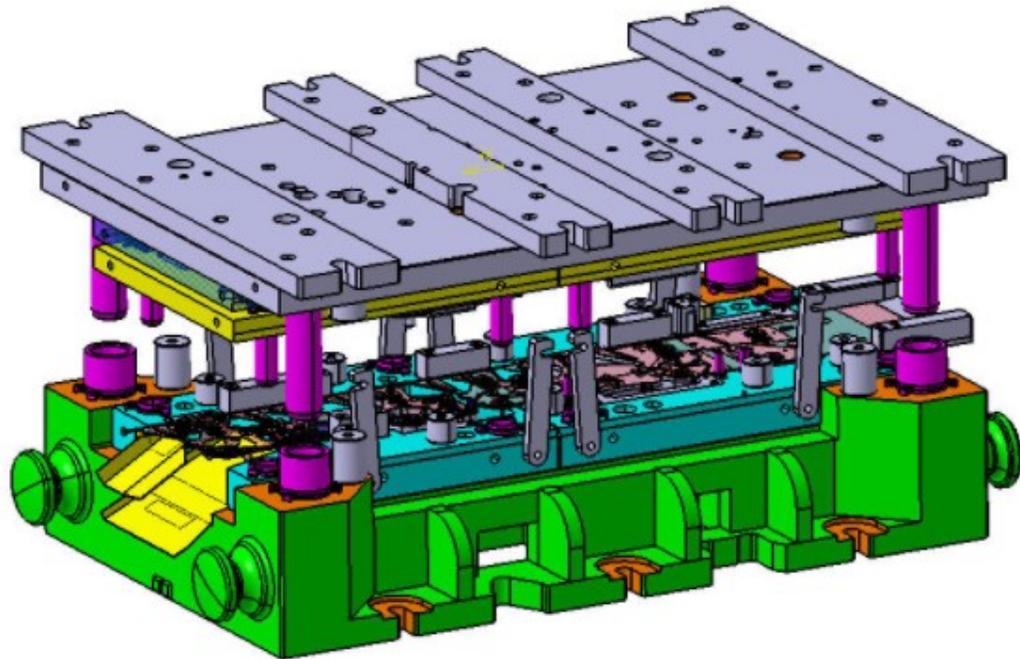
Fonte - <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAPTcAH/estampagem>

## 2.5 – TIPOS DE FERRAMENTAS DE ESTAMPAGEM

Basicamente, as ferramentas de estampagem para peças com volumes altos são divididas em 2: progressivas, onde a alimentação é feita através de bobinas de aço, e *transfers*, onde é alimentado por chapas de aço, chamadas de *blanks*.

### 2.5.1 – Ferramentas Progressivas

Neste tipo de ferramentas, a chapa entra em banda, com alimentação automática a partir de bobinas ou manual a partir de tiras, entre uma matriz superior e inferior e vai sendo alvo de sucessivas operações de corte, dobragem ou estampagem até à obtenção de uma peça terminada. (GALVÃO, p. 51, 2014).

**Figura 6 - Ferramenta Progressiva**

Fonte - <http://www.fillipos.com.br/progressivas/>

As ferramentas progressivas são de menor custo se comparadas com as ferramentas *transfers* e são utilizadas para estampagem de peças de menor complexidade. As cadências de seu processo são maiores e seu ajuste é mais simples em relação a outra ferramenta (FILLIPOS, 2017).

### 2.5.2 – Ferramentas Transfer

São compostas por várias ferramentas que executam individualmente uma determinada operação, e que se encontram montadas em sequência normalmente sobre uma base comum. A alimentação da chapa pode ser feita automaticamente a partir de bobines ou a partir de formatos e a movimentação das peças de uma ferramenta para outra é realizada por sistemas transfer automáticos ou por robots, equipados com sistemas de garras mecânicas ou pneumáticos. (GALVÃO, p. 52 2014).

**Figura 7 - Ferramenta Transfer**

Fonte - <http://arisa.com/pt/producto/transfer-4/>

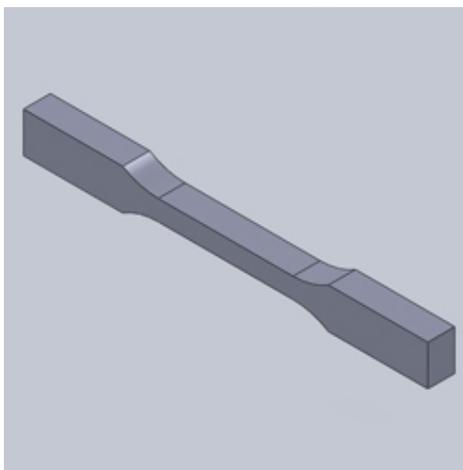
## 2.6 – ENSAIOS

Para validação de peças que são produzidas por encomenda ou seriada, uma quantidade de amostras é submetida a ensaios para validação do processo, produto e matéria-prima. O teste realizado para validarmos MP (Matéria-Prima) são na maior parte dos casos, ensaio químico, que analisa a formação daquele aço, ensaio de tração, propriedades mecânicas, e análise Metalografia / micrográfica para a análise de estrutura.

O estudo e comprovação dos resultados da tese serão em cima do ensaio de tração feito em um determinado aço para estampagem, analisando assim suas propriedades mecânicas nos dois sentidos de laminação. (FILHO, WALDEK, 2009).

O ensaio de tração é feito em um corpo de prova devidamente dimensionado e retrabalhado, exigindo uma célula de carga que o tracionará e um software coletor dos resultados. A peça é submetida a uma força de tração até o seu escoamento e até sua ruptura logo em sequência, o alongamento é calculado e os valores são colocados em uma planilha (FILHO, WALDEK, 2009).

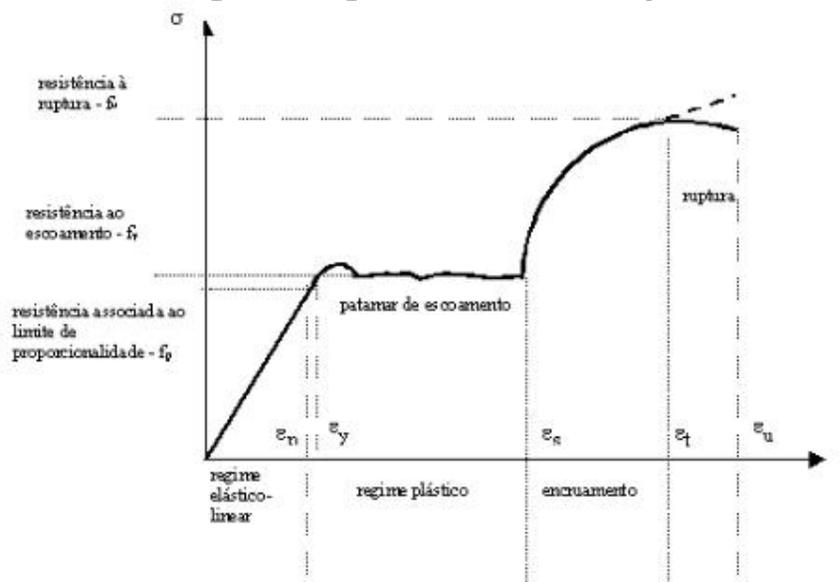
Figura 8 - Corpo de Prova para ensaio de tração



Fonte - <http://www.equitecs.com.br/servicos/usinagem/usinagem-de-corpo-de-prova/usinagem-de-corpo-de-prova-ensaio-de-tracao/>

Os resultados to ensaio de tração são demonstrados através do diagrama tensão x deformação.

Figura 9 - Diagrama Tensão x Deformação



Fonte - <http://www.ebah.com.br/content/ABAAA8IAAC/projeto1-ensaio-tracao-aluminio>

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 TIPOS DE PESQUISA**

A pesquisa foi realizada por meio de ensaios em campo e estudos dos resultados para comprovação da análise em questão no intuito de melhores discussões e argumentações sobre os dados apresentados neste trabalho.

#### **3.2 ÁREA DE REALIZAÇÃO**

Foram realizados ensaios em um laboratório metalúrgico com equipamentos e *software* que auxiliaram na execução e coleta de informações para os estudos de comprovações de resultados.

#### **3.3 POPULAÇÃO E AMOSTRA**

Realizaram-se ensaios de tração em três corpos de prova para cada sentido de laminação, com as mesmas dimensões e classe de material sob as mesmas condições de equipamentos e cargas afim de manter-se a confiabilidade dos resultados obtidos.

#### **3.4 INSTRUMENTAÇÃO**

Os ensaios foram feitos em uma máquina universal de ensaios (teste de tração) de 300kN com mordentes superiores e inferiores com capacidade proporcional à carga aplicada para fixação do corpo de prova.

**Figura 10 – Máquina para ensaio de tração**



Fonte: <http://www.grupocalibracao.com.br/maquina-ensaio-de-tracao-preco>

### **3.5 PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS**

Os dados foram gerados após a execução dos ensaios em cada amostra e computados em um *software* de análise tensão x deformação com gráficos e valores para os resultados e conclusões finais.

### **3.6 PROCEDIMENTO DE ANÁLISE DE DADOS**

Com os resultados e as simulações de estampagem com os distintos sentidos de laminação, foi obtida uma base de dados para comprovação do estudo da influência deste fator nas propriedades mecânicas e a influência no resultado final no processo de estampagem.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ENSAIO DE TRAÇÃO

#### 4.1.1 - Condições de Ensaio

O teste foi realizado em condição ambiente com três corpos de prova para cada sentido da chapa (transversal e longitudinal ao de laminação). Utilizando como base o material da norma “VW50065”, que apresenta as seguintes propriedades mecânicas e químicas:

**Quadro 3 - Norma VW50065**

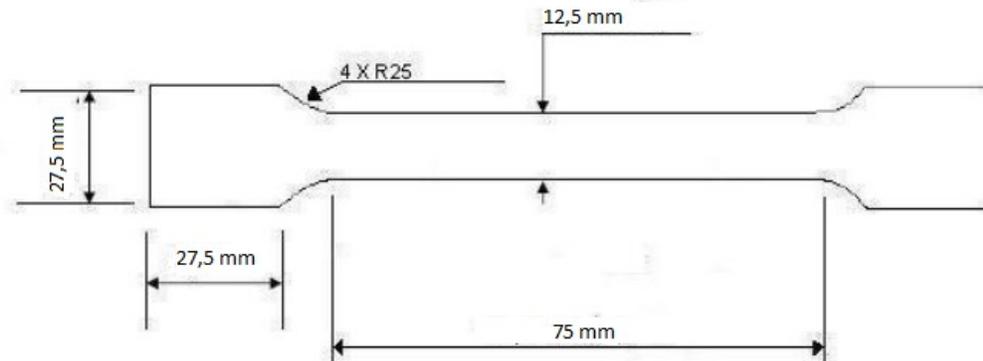
Material	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Al %	Ti+Nb %	Cr+Mo %	B %	Cu %
CR700Y980T-DP	≤ 0.23	≤ 1.00	≤ 2.90	≤ 0.050	≤ 0.010	0.015 to 1.0	≤ 0.15	≤ 1.40	≤ 0.005	≤ 0.20

Material	Proof stress $R_{p0.2}$ MPa	Tensile strength $R_m$ MPa	A %	Elongation at break			n		$BH_2$ MPa <sup>a)</sup>
				Shape 1 $A_{50\text{ mm}}$ %	Shape 2 $A_{80\text{ mm}}$ %	Shape 3 $A_{50\text{ mm}}$ %	$n_{4-6}$	$n_{10-20/Ag}$	
CR700Y980T-DP	700 to 850	980 to 1 130	-	≥ 9	≥ 8	≥ 9	-	-	≥ 30

Fonte: Norma VW50065

A MP (Matéria-Prima) que foi testada é um Dual Phase (Ferrita+Martensita) laminado a frio com uma tensão de ruptura de 980 MPa e escoamento igual à 700 MPa.

Os corpos de prova foram preparados com o blank do produto ‘Barra de impacto’, que utiliza a mesma MP com uma espessura de  $t=1,35\text{mm}$ . Abaixo segue croqui com o dimensionamento do CP (Corpo-de-Prova), respeitando a norma “ISO-6892”:

**Figura 11 - Corpo de prova**

**Fonte: Próprio Autor**

A máquina utilizada nos ensaios foi uma EMIC.

**Figura 12 - Máquina de tração EMIC**

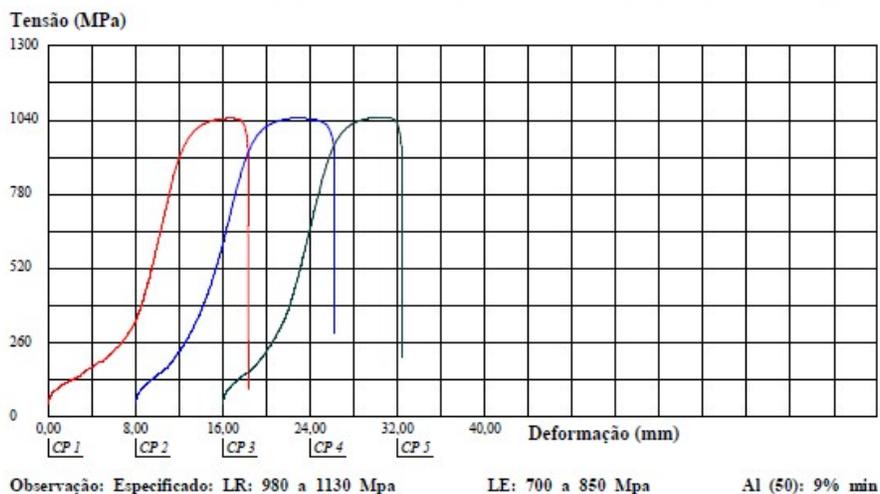
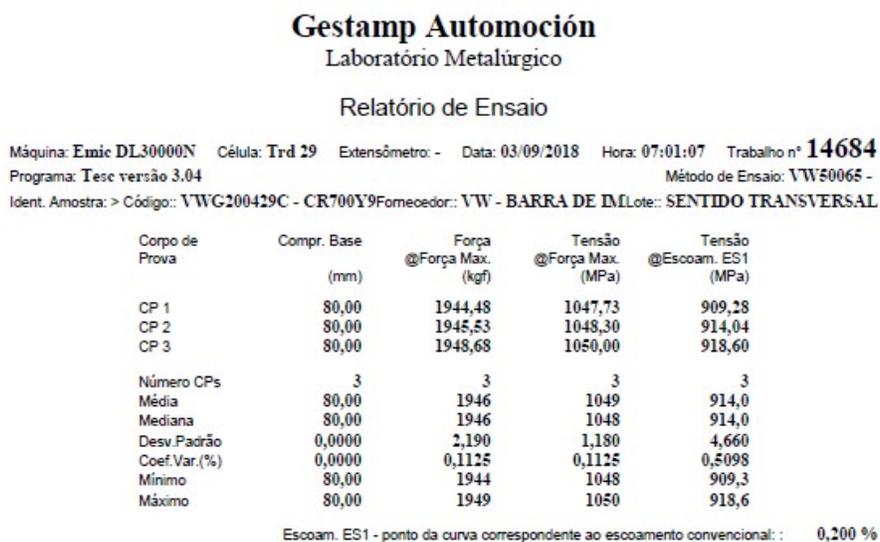
**Fonte: Próprio Autor**

#### 4.1.2 - Ensaio de tração no sentido Transversal

Na primeira condição, transversal, obtivemos os valores demonstrados abaixo, que mostram altos valores referente à tensão de ruptura e escoamento, pois os grãos estão comprimidos, havendo maiores intersecções nos contornos fazendo com que os valores de LE (Limite de Escoamento) e LR (Limite de Ruptura) se tornem mais elevados.

Já o alongamento acaba se tornando menor e com isso é um sentido em que se há maior possibilidades de trincas na conformação durante o processo de estampagem.

Figura 13 - Resultado do ensaio de tração no sentido transversal



Fonte: Próprio Autor

**Quadro 4 - Alongamento no sentido transversal**

Sentido Transversal		
	Alongamento (mm)	Alongamento (%)
Corpo de prova 1	6,9	12,13%
Corpo de prova 2	7,1	12,43%
Corpo de prova 3	7,25	12,66%

**Fonte: Próprio Autor**

#### **4.1.3 - Ensaio de tração no sentido Longitudinal**

Na segunda, longitudinal, o gráfico e os resultados após os ensaios dos três corpos de prova, demonstram valores de tensão de escoamento e ruptura menores, justamente pela razão dos grãos estarem alongados, havendo menores intersecções nos contornos entre eles e causando assim valores de LE (Limite de Escoamento) e LR (Limite de Ruptura) mais baixos.

O alongamento por sua vez, mostra-se mais elevado, fazendo com que se torne um agente importante para a boa estampabilidade do produto a ser conformado.

**Figura 14 - Resultado do ensaio de tração no sentido longitudinal**

## Gestamp Automoción

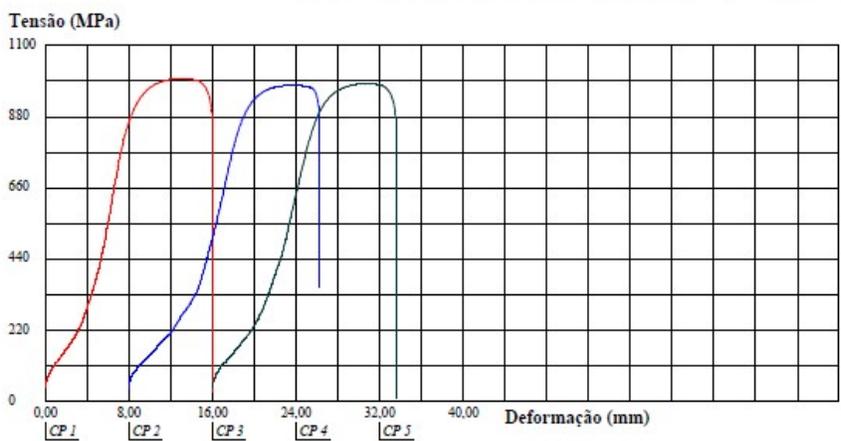
Laboratório Metalúrgico

### Relatório de Ensaio

Máquina: Emic DL3000N Célula: Trd 29 Extensômetro: - Data: 03/09/2018 Hora: 07:20:03 Trabalho nº 14685  
 Programa: Tesc versão 3.04 Método de Ensaio: VW50065 -  
 Ident. Amostra: > Código: VWG200429C- CR700Y9Fornecedor: VW - BARRA DE IM/Lote: SENTIDO LONGITUDINAL

Corpo de Prova	Compr. Base (mm)	Força @Força Max. (kgf)	Tensão @Força Max. (MPa)	Tensão @Escoam. ES1 (MPa)
CP 1	80,00	1906,60	998,79	830,15
CP 2	80,00	1909,75	978,49	847,94
CP 3	80,00	1890,81	983,69	839,81
Número CPs	3	3	3	3
Média	80,00	1902	987,0	839,3
Mediana	80,00	1907	983,7	839,8
Desv. Padrão	0,0000	10,15	10,54	8,903
Coef. Var. (%)	0,0000	0,5334	1,068	1,061
Mínimo	80,00	1891	978,5	830,2
Máximo	80,00	1910	998,8	847,9

Escoam. ES1 - ponto da curva correspondente ao escoamento convencional: : 0,200 %



Observação: Especificado: LR: 980 a 1130 Mpa LE: 700 a 850 Mpa Al (50): 9% min

Fonte: Próprio Autor

**Quadro 5 - Alongamento no sentido longitudinal**

Sentido Longitudinal		
	Alongamento (mm)	Alongamento (%)
Corpo de prova 1	8,4	14,38%
Corpo de prova 2	8,6	14,68%
Corpo de prova 3	8,2	14,09%

Fonte: Próprio Autor

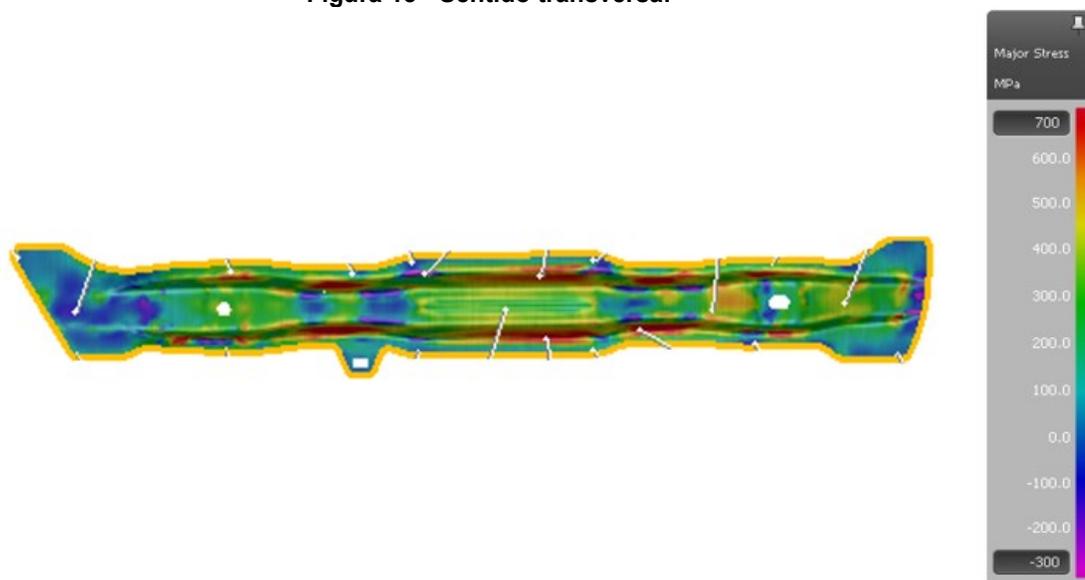
## 4.2 SIMULAÇÃO DE ESTAMPAGEM

### 4.2.1 Condições para simulação

Para comprovação da teoria e dos resultados dos ensaios de tração nos sentidos de laminação, utilizando o software 'AUTOFORM', seguem duas simulações de estampagem de uma barra de impacto produzida em uma indústria de auto-peças.

### 4.2.2 Simulação de estampagem no sentido transversal

Figura 15 - Sentido transversal

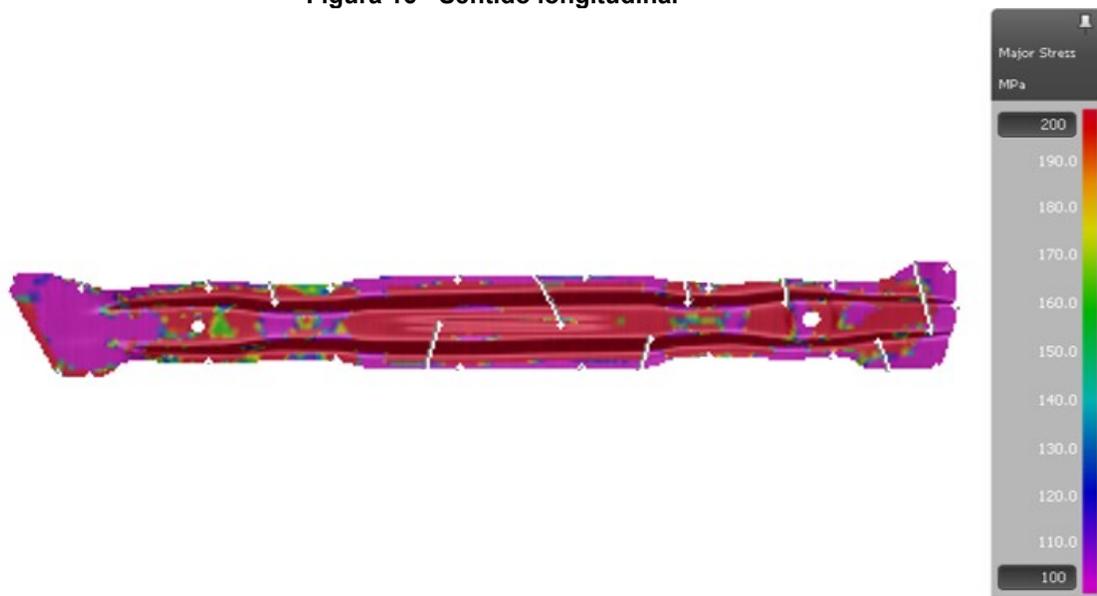


Fonte: Próprio Autor

Conforme a figura 15, pode-se ver que a amplitude de variação de tensão é alta, pois varia de 300 MPa na compressão até 700 MPa na tração com quase a totalidade variando entre 200 e 400 MPa de tração.

### 4.2.3 Simulação de estampagem no sentido longitudinal

Figura 16 - Sentido longitudinal



Fonte: Próprio Autor

Como podemos ver na figura 16, a amplitude de tensão é muito menor, variando na tração de 100 a 200MPa.

## 5 CONCLUSÃO

Após todos os ensaios realizados e a comparação com as simulações de tensões dos estampados nos diferentes modos de distribuição em um *blank*, é nítido a importância de um bom estudo e verificação técnica para poder escolher da melhor forma possível uma posição do produto conformado que proporcione uma boa estampabilidade, eliminando, ou ao menos reduzindo, chances de trincas, estiramentos e rugas na peça final.

Nos primeiros ensaios, no sentido transversal, foram encontradas tensões limites de escoamento que variaram de 909 a 918 MPa e alongamentos que variaram de 12,13 a 12,66%. Neste sentido pode-se observar, na simulação de estampagem, que existem áreas de grande concentração de tensão nas dobras e repuxos da peça, dificultando a estampabilidade do produto. No sentido longitudinal as tensões variaram de 830 a 847 MPa e os alongamentos de 14,09 a 14,68%, desta forma, através da simulação, as tensões aplicadas são muito mais homogêneas neste sentido, tornando-o ideal para ser utilizado no processo de estampagem, garantindo assim a boa qualidade do produto final.

## 6 REFERÊNCIAS

**Laminação a quente – Aprenda tudo o que precisa saber deste processo.**

Disponível em: <http://urifer.com.br/blog/laminacao-quente-aprenda-tudo-o-que-precisa-saber-deste-processo/>>

**Laminação.** Disponível em: [http://joinville.ifsc.edu.br/~ivandro/ivandro/PFB64/3%20-%20Lamina%C3%A7%C3%A3o\\_.pdf](http://joinville.ifsc.edu.br/~ivandro/ivandro/PFB64/3%20-%20Lamina%C3%A7%C3%A3o_.pdf)

**Processo de Laminação.** Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840793/LOM3004/Aula9CM.pdf>

**A Laminação.** Disponível em: [http://mmborges.com/processos/Conformacao/cont\\_html/laminacao.htm](http://mmborges.com/processos/Conformacao/cont_html/laminacao.htm)>

**Usinagem de Corpo de Prova – Ensaio de Tração.** Disponível em: <http://www.equitecs.com.br/servicos/usinagem/usinagem-de-corpo-de-prova/usinagem-de-corpo-de-prova-ensaio-de-tracao/>>

**Processos de Estampagem.** Disponível em: <http://bmalbert.yolasite.com/resources/Estampagem.pdf>

**Laminados Revestidos.** Disponível em: <http://lealfer.com.br/br/produtos/laminados-revestidos>

**Chapas de aço: Diferença das chapas laminadas a frio e a quente.** Disponível em: <http://www.galvaminas.com.br/blog/chapas-de-aco-laminadas-frio-quente>

**Ensaios Mecânicos dos Materiais.** Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3367735/mod\\_resource/content/1/Aula%204\\_ensaio%20de%20Dureza%2C%20Impacto\\_Tra%C3%A7%C3%A3o\\_Compress%C3%A3o%20Waldek.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3367735/mod_resource/content/1/Aula%204_ensaio%20de%20Dureza%2C%20Impacto_Tra%C3%A7%C3%A3o_Compress%C3%A3o%20Waldek.pdf)

SOUZA, Sérgio Augusto. **Ensaios Mecânicos de Materiais Metálicos, Fundamentos teóricos e práticos.** 5º. Edição.

PROVENZA, Francesco. **Estampos I, II e III.** São Paulo: Pro-Tec, 1996.

CALLISTER, Willian D. **Ciência e Engenharia de Materiais –LTC,** 5. Edição.

CHIAVERNI, V.1979. **Tecnologia Mecânica.** Vol. 1. São Paulo, Editora McGraw-Hill.

FRANCO, Egberto, LINO, Jorge da Costa, KAMEI, Koyo et al. **Estampagem dos Aços.** São Paulo: Associação Brasileira de Metais