



**Vanderlei Vargas**

**ANÁLISE E PROPOSTA DE MELHORIA NA FABRICAÇÃO  
DE PEÇAS DE CHAPAS METÁLICAS**

**Horizontina**

**2014**

**Vanderlei Vargas**

**ANÁLISE E PROPOSTA DE MELHORIA NA FABRICAÇÃO DE  
PEÇAS DE CHAPAS METÁLICAS**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Valmir Vilson Beck, especialista.

**Horizontina**

**2014**

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:**

**“Análise e proposta de melhoria na fabricação de peças de chapas metálicas”**

**Elaborada por:**

**Vanderlei Vargas**

como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 14 de novembro de 2014  
Pela Comissão Examinadora**

---

**Especialista - Valmir Vilson Beck  
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

---

**Mestre - Sirnei Cesar Kach  
FAHOR – Faculdade Horizontina**

---

**Mestre - Valtair de Jesus Alves  
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina  
2014**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha família, especialmente a minha esposa, minhas filhas e a todos que colaboraram e me apoiaram durante esta caminhada.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço a minha esposa Clari pelo apoio, força e compreensão, as minhas filhas Chaiane e Leticia, aos colegas, amigos, professores e funcionários da FAHOR, especialmente ao meu orientador Valmir Vilson Beck.

“Toda empresa precisa de gente que erra, que não tem medo de errar e que aprenda com o erro.”

**BILL GATES**

## RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido em uma indústria situada na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, especificamente em seu departamento de primários (setor de processamento de chapas metálicas). A empresa produz máquinas e equipamentos para a agricultura e o estudo foi realizado partindo da análise da fabricação de um determinado grupo de peças manufaturadas atualmente pelo processo de corte por puncionamento em máquinas puncionadeiras. Na indústria em questão, ao longo dos últimos anos, a escolha do processo a ser aplicado na fabricação de peças de chapas metálicas, especialmente as que necessitam apenas corte, foi realizada sem considerar critérios técnicos fundamentados e este procedimento gerou um acúmulo de produção em máquinas puncionadeiras. O corte nestas máquinas não oferece muita flexibilidade por empregar geralmente ferramentas padronizadas e, dependendo da necessidade e precisão das dimensões que se necessita para determinados projetos, torna-se necessário a aquisição de ferramentas especiais, elevando os custos de fabricação. O objetivo geral traçado para o trabalho foi analisar um grupo de peças manufaturadas em uma indústria do ramo de máquinas e implementos agrícolas, especificamente por operações de corte por estampagem em puncionadeira e definir se o processo empregado pela empresa é o mais recomendado. A análise considerou o fato de que a empresa possui centros de corte a laser e indicadores de qualidade, segurança, entrega, produtividade e flexibilidade também delinearão a análise. Para o desenvolvimento do trabalho pesquisou-se informações em livros, artigos, dissertações de mestrados e teses de doutorados, caracterizando assim a pesquisa bibliográfica. Buscou-se na pesquisa o entendimento dos processos de corte relacionados ao projeto, com a finalidade de compreender suas características quanto ao corte de chapas metálicas. Após a pesquisa bibliográfica, realizou-se o mapeamento dos itens processados atualmente nas máquinas puncionadeiras da empresa, descrevendo as fases em que cada item passa para atender as características técnicas especificadas em desenho, caracterizando a pesquisa descritiva. Constatou-se que 1074 itens (peças) são processadas atualmente nas puncionadeiras, peças estas de aço carbono com espessuras que variam de 0,9 a 4,75 mm, distribuídas em sete máquinas diferentes. Analisando os sequenciamentos de máquinas aplicados a estes itens, concluiu-se que os mesmos são inadequados, especialmente em função da grande quantidade de operações aplicadas e as principais consequências são: necessidade de equipamentos para movimentação; necessidade de espaço para armazenamento entre operações; manuseio do mesmo item várias vezes e riscos de acidentes durante movimentações. A proposta prevê a troca de processo, migrando do corte por puncionamento para o corte a laser, pois eliminam-se assim 19 operações, passando de 89 para 70, representando redução de 90 horas máquina. A partir dos resultados obtidos, conclui-se que todos objetivos traçados foram alcançados e sugere-se que os estudos sejam estendidos aos demais itens manufaturados em puncionadeiras pela empresa.

**Palavras-chave:** Chapa metálica. Corte por Puncionamento. Corte a Laser.

## ABSTRACT

This work was developed in an industry located in the northwest region of the State of Rio Grande do Sul, specifically in its department of primary (industry sheet metal processing). The company produces machinery and equipment for agriculture and the study was conducted based on an analysis of the production of a particular group of parts currently manufactured by the cutting process by punching into punching machines. The industry concerned over the recent years, the choice of procedure to be applied in the manufacture of sheet metal parts, especially those that require only cutting was done without considering based technical criteria and this procedure resulted in an accumulation of production machines punching. The cut on these machines does not offer much flexibility by generally employ standardized tools and, depending on need and accuracy of dimensions that is needed for certain projects, it is necessary to purchase special tools, increasing manufacturing costs. The layout overall goal for the study was to analyze a group of pieces manufactured in an industry branch of agricultural machinery and implements, specifically by cutting punching and stamping operations define the process employed by the company is the most recommended. The analysis considered the fact that the company has centers laser cutting and indicators of quality, safety, delivery, productivity and flexibility also outlined the analysis. To develop the work we looked at information on books, articles, theses, masters and doctoral degrees, thus characterizing the literature. We sought in the research understanding of cutting processes related to the project, in order to understand its characteristics as to cut sheet metal. After the literature search, carried out the mapping of the currently processed punching machines in the company, describing the phases in which each item passes to meet the technical characteristics specified in drawing, featuring descriptive items. It was found that 1074 items (pieces) are currently processed in punching, these parts carbon steel with thicknesses ranging from 0.9 to 4.75 mm, distributed in seven different machines. Analyzing the sequencing machines applied to these items, it was concluded that they are inadequate, especially in light of the large amount of applied operations and the main consequences are: the need for moving equipment; space requirement for storage between operations; handling of the same item several times and risks of accidents during movement. The proposal provides for the exchange process, migrating from cutting to punching laser cutting, as well as eliminate up 19 operations, from 89 to 70, representing a reduction of 90 hours machine. From the results obtained, it is concluded that all objectives were achieved and it is suggested that studies be extended to other items manufactured by the company in punching.

**Keywords:** Sheet metal. Cutting Punching. Laser Cutting.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Corte por estampagem .....                             | 18 |
| Figura 2 - Estampo de corte .....                                 | 19 |
| Figura 3 - Puncionadeira amada vipros 358 king .....              | 21 |
| Figura 4 - Corte por estampagem .....                             | 22 |
| Figura 5 - Corte e repuxe .....                                   | 22 |
| Figura 6 - Repuxe.....  | 23 |
| Figura 7 - Ferramentas especiais.....                             | 24 |
| Figura 8 - Cavaco resultante de punção e matriz desalinhados..... | 26 |
| Figura 9 - Máquina de corte a laser.....                          | 29 |
| Figura 10 - Centro de corte a laser.....                          | 31 |
| Figura 11 - Corte por estampagem .....                            | 39 |
| Figura 12 - Corte a laser. ....                                   | 39 |
| Figura 13 - Sequenciamento do processo atual. ....                | 43 |
| Figura 14 - Processo atual. ....                                  | 45 |
| Figura 15 - Processo proposto. ....                               | 45 |
| Figura 16 – Diferenças entre processo atual e proposto.....       | 46 |
| Figura 17 – Perdas no corte por puncionamento. ....               | 47 |
| Figura 18 – Perdas no corte a laser. ....                         | 47 |
| Figura 19 – Redução no desperdício de matéria prima.....          | 48 |

## LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1 - Nível de ruído e tempo de exposição .....           | 20 |
| Quadro 2 – Capacidades usuais de deslocamentos dos eixos ..... | 23 |
| Quadro 3 – Dimensões das matérias primas .....                 | 41 |
| Quadro 4 – Resumo do mapeamento .....                          | 42 |
| Quadro 5 – Descrição de blanks analisados .....                | 42 |
| Quadro 6 - Processo atual dos itens analisados. ....           | 44 |
| Quadro 7 - Processo proposto para os itens analisados. ....    | 44 |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>12</b> |
| 1.1 JUSTIFICATIVA .....  | 13        |
| 1.2 OBJETIVOS .....  | 15        |
| <b>2 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>                                       | <b>16</b> |
| 2.1 CHAPAS DE AÇO CARBONO .....  | 16        |
| 2.1.1 Corte de Chapas de Aço Carbono .....                                 | 16        |
| 2.1.2 Estampagem de Chapas Metálicas .....                                 | 17        |
| 2.1.3 Corte de Chapas Metálicas por Estampagem .....                       | 17        |
| 2.1.4 Ruídos Produzidos pelo Corte de Chapas Metálicas por Estampagem .... | 19        |
| 2.1.5 Corte de Chapas Metálicas em Puncionadeiras .....                    | 20        |
| 2.2 PUNCIÓNADEIRAS .....   | 21        |
| 2.2.1 Características das peças processadas em puncionadeiras .....        | 25        |
| 2.2.2 Ferramentas de Puncionamento .....                                   | 27        |
| 2.2.3 Custos de Ferramentas para Puncionamento (Aquisição Manutenção) ...  | 28        |
| 2.2.4 Ruídos Produzidos no Corte em Puncionadeiras .....                   | 28        |
| 2.3 CORTE DE CHAPAS METÁLICAS POR RAIOS LASER .....                        | 28        |
| 2.3.1 Centro de Corte a Laser .....  | 31        |
| 2.3.2 Tipos de Centros de Corte a Laser .....                              | 31        |
| 2.3.3 Aplicações dos Centros de Corte a Laser .....                        | 32        |
| 2.3.4 Características das Peças Cortadas a Laser .....                     | 33        |
| 2.3.5 Custos do Corte a Laser .....  | 33        |
| 2.3.6 Ruídos Produzidos no Corte a Laser .....                             | 34        |
| 2.3.7 Riscos Gerados no Processo de Corte a Laser .....                    | 35        |
| <b>3. METODOLOGIA .....</b>  | <b>36</b> |
| 3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS .....                                    | 36        |
| 3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS .....   | 38        |
| 3.3 DESCRIÇÃO DA AMOSTRA .....   | 38        |
| <b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>                       | <b>39</b> |
| 4.1 DEPARTAMENTO DE MANUFATURA DA EMPRESA EM ESTUDO .....                  | 39        |
| 4.2 ITENS MANUFATURADOS PELO PROCESSO DE CORTE POR PUNCIÓNAMENTO .....     | 40        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.3 ITENS MANUFATURADOS PELO PROCESSO DE CORTE A LASER .....                     | 40        |
| 4.4 RELAÇÃO ENTRE ITENS MANUFATURADOS POR PUNÇIONAMENTO E POR CORTE A LASER..... | 41        |
| 4.5 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....   | 42        |
| <b>5 CONCLUSÕES .....</b>  | <b>49</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>   | <b>51</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta estudos e resultados obtidos através de levantamentos e análises de dados reais e bibliográficos que viabilizaram a definição e o diagnóstico da fabricação de um grupo de componentes de máquinas e implementos agrícolas de uma determinada indústria da região.

Buscando conhecer e compreender a situação atual e partindo desta situação, obter melhores resultados nos índices de qualidade, segurança, tempos de fabricação e produtividade, analisou-se o processo de corte por estampagem em máquinas puncionadeiras empregadas pela empresa, analisando em um determinado grupo de itens fabricados por este processo, a necessidade e possibilidade de substituir o processo empregado pelo processo de corte a laser.

O processo de corte por puncionamento consiste em cortar chapas metálicas por estampagem, onde uma puncionadeira normalmente automática (CNC) executa o deslocamento da matéria prima em forma de chapa, para a posição em que é realizada a operação de corte. Utilizando-se uma ferramenta selecionada de acordo com programação prévia, executa o corte desejado. A operação consiste basicamente na utilização de punção, matriz e extrator.

O corte em puncionadeiras não oferece muita flexibilidade, pois emprega geralmente ferramentas padronizadas e, dependendo da necessidade e precisão das dimensões exigidas para determinados projetos, torna-se necessário a aquisição de ferramentas especiais, elevando consideravelmente os custos de fabricação.

O processo também é caracterizado por realizar cortes, repuxos e pequenas dobras e a execução destas operações, em alguns casos, demandam altos tempos de fabricação, geração de ruídos elevados e aplicação de grandes esforços físicos. Na operação da máquina puncionadeira, o operador precisa estar atento visualmente e audivelmente ao que ocorre, pois problemas de máquina e/ou de ferramental interferem diretamente na qualidade e na produtividade. Desgastes ou fraturas de punções e matrizes proporcionam rebarbas e/ou erros dimensionais e geométricos que precisam ser monitorados e evitados através de ações do próprio operador da máquina, sem dispor de controles automáticos que alguns outros processos de fabricação oferecem.

Já o processo de corte de chapas metálicas a laser consiste em cortar materiais através de um feixe de luz concentrado, em máquinas denominadas

centros de corte a laser. Normalmente a máquina, que atua de forma integrada a sistemas CAD/CAM permite produzir peças complexas e precisas, com juntas de corte reduzidas e possibilita respostas rápidas na alteração de projetos, sem a necessidade de utilização de ferramentas especiais.

O processo de corte a laser, além de flexível, permite produzir peças precisas e com superfícies de alta qualidade, o processo utiliza-se a energia elétrica e gases como elementos essenciais para a realização do corte. Os gases mais empregados são: Hélio (He), Nitrogênio (N<sub>2</sub>) e Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) e cada gás é responsável por uma determinada função.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

O mercado de máquinas e implementos agrícolas tem crescido rapidamente e em consequência, a competitividade e a diversidade na oferta de produtos para atenderem a essa demanda também cresce em ritmo acelerado. Para aumentarem às vendas e em consequência as receitas, as empresas investem significativamente em qualificação de funcionários e no emprego de tecnologia de ponta.

Para manterem o mercado atual e adquirirem novos mercados, as indústrias vão à busca de novas tecnologias que resultem na obtenção de melhores resultados nos indicadores de qualidade, segurança, entrega e produtividade. Desta forma, a aquisição de máquinas e ferramentas que tornem os processos de fabricação mais rápidos, confiáveis e eficientes são questões relevantes para todas estas indústrias.

Dentre os vários processos utilizados pelas indústrias do ramo metal mecânico, apenas os processos de corte por estampagem em puncionadeiras e o corte a laser estão contemplados neste estudo.

Na indústria em questão, ao longo dos últimos anos, a escolha do processo a ser aplicado na fabricação de peças de chapas metálicas, especialmente as que necessitam apenas corte, foi realizada sem considerar critérios técnicos fundamentados e este procedimento gerou um acúmulo de produção nas máquinas de corte por puncionamento (puncionadeiras).

Este trabalho justifica-se pela intenção e necessidade de melhorar os índices de qualidade, segurança, entrega e produtividade da indústria em estudo, mais especificamente do departamento de primários (setor de processamento de corte de chapas por máquinas de corte a laser e puncionadeiras). Desta forma, os resultados

deste trabalho contribuem para estimar e quantificar o uso do processo de corte entre os itens analisados, definindo de forma criteriosa os itens a serem produzidos em máquinas puncionadeiras e os itens a serem produzidos por corte a laser. Ganhos em qualidade no acabamento do corte, redução do índice de sucata, redução de operações de outras máquinas, redução de movimentação de materiais, redução no custo de aquisição e manutenção de ferramentas, diminuição do nível de ruído causado pelo processo de corte por estampagem, aumento de produtividade.

A empresa em estudo passa por mudanças constantes ocasionadas pelo mercado consumidor que alterna altas e baixas demandas e as maiores dificuldades encontradas ocorrem no momento de alta do mercado, que geram demandas maiores na produção de componentes para seus produtos finais. Nestes casos, muitos processos internos de produção são alterados para suprirem as necessidades e estas mudanças nem sempre correspondem às escolhas ideais para a fabricação de determinados componentes, gerando problemas diversos, especialmente custos maiores e desnecessários.

Neste sentido, este trabalho teve como foco principal, verificar em um determinado grupo de peças que estão sendo produzidas atualmente em máquinas puncionadeiras, quais delas precisam ser produzidas nestas máquinas, levando em consideração algumas características específicas dos componentes como, por exemplo:

- Grande quantidade de furos;
- Peças com repuxe(s) de diversas finalidades (antiderrapante, sextavado e roscamento);
- Peças que devem ficar livres de óxido;

Levando estes aspectos em consideração, buscou-se atuar na análise dos itens (peças) que hoje estão sendo produzidos em máquinas puncionadeiras, especialmente na identificação de itens que podem ser transferidos para o processo de corte a laser, onde a empresa obterá ganhos significativos em vários aspectos como, por exemplo:

- Ganhos em setup;
- Ganhos de produtividade;
- Redução no ruído causado pelas máquinas puncionadeiras;
- Melhor aproveitamento da matéria-prima;

- Redução no índice de sucata;
- Diminuição na movimentação de material;
- Redução de área de armazenagem;
- Eliminação de operações anteriores e posteriores.

## 1.2 OBJETIVOS

O trabalho procurou por meio de pesquisa bibliográfica e estudo de caso, analisar a fabricação de peças metálicas de chapas planas produzidas em uma indústria do ramo metal mecânico e teve como foco principal o estudo e a análise do processo de corte por estampagem em puncionadeiras.

Objetivo geral:

Analisar um grupo de peças manufaturadas em uma indústria do ramo de máquinas e implementos agrícolas, especificamente por operações de corte por estampagem em puncionadeira e definir se o processo empregado pela empresa é o mais recomendado considerando o fato de que a empresa possui centros de corte a laser e observando os indicadores de qualidade, segurança, entrega, produtividade e flexibilidade para a fabricação dos itens analisados.

Objetivos específicos:

- Melhorar os indicadores operacionais do departamento em questão;
- Analisar e melhorar as cargas máquinas;
- Reduzir o índice de sucata;
- Reduzir custos aplicados em ferramental;
- Aumentar os índices de produtividade.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

Nesse capítulo abordam-se aspectos bibliográficos que fundamentam este trabalho, especialmente as questões relacionadas ao processo de corte em máquinas puncionadeiras, visando especialmente atingir os objetivos do trabalho.

### **2.1 CHAPAS DE AÇO CARBONO**

As chapas metálicas possuem uma gama infinita de uso e aplicações, podendo ser empregada nas mais diversas áreas desde que observado algumas restrições quanto às características e composição da mesma. O setor metalúrgico é considerado como sendo o principal usuário e consumidor de chapas metálicas por empregar este material em praticamente todos os seus produtos.

No mercado atual existem vários tipos de materiais que são caracterizados através de suas propriedades e composição química, estas características dão propriedades para os aços para que os mesmos possam ser ou não utilizados em determinadas situações.

Os perfis de chapas mais utilizados normalmente são os perfis de bobinas, chapas, tiras, tubos, cantoneiras, entre outros utilizados pela indústria.

#### **2.1.1 Corte de chapas de aço carbono**

Para a realização do corte de chapas metálicas existem vários processos que permitem à realização desta operação, no mercado atual as empresas optam pelos processos de corte que atendem as suas necessidades de forma eficaz e confiável, pois cada um possui uma faixa de aplicações definida em função de sua característica e da espessura a ser cortada. Neste processo de corte podemos citar além do corte por estampagem e o corte a laser que estão abordados neste trabalho, outros processos de corte como: o corte por tesoura guilhotina corte por plasma, corte por oxicorte, corte por estampo progressivo, corte por jato de água.

Para EDEGAR BLUCHER, o processo de corte em chapas metálicas geralmente é realizado em máquina de corte, a qual se destina a separação de partes do material que está sendo processado. Nesta operação, o material removido geralmente é denominado sucata e possui o perfil do orifício desejado. Em casos

especiais, o material removido da chapa matéria-prima assume a condição de peça aplicável.

### **2.1.2 Estampagem de Chapas Metálicas**

Segundo Chiaverini (1986), estampagem é um processo de conformação mecânica que compreende as seguintes operações: corte (cisalhamento), dobramento e encurvamento, que são normalmente realizados a frio e estampagem profunda que pode ser realizada a frio ou a quente.

No ramo metal mecânico, corte por estampagem pode ser entendido como sendo um dos processos de fabricação dentre vários outros que são utilizados pelas empresas para a realização de corte parcial ou final de uma peça e é realizado por um conjunto de ferramentas denominadas punção e matriz. (JIM LESKO, 1998).

A estampagem pode ser entendida como um processo de conformação mecânica aplicada na grande maioria em chapas metálicas a qual visa conformar a mesma de acordo com o formato final desejado.

Os materiais metálicos mais utilizados no processo de estampagem incluem o aço, alumínio, zinco, níquel, titânio, latão, cobre e uma série de ligas metálicas. Na operação de estampagem é necessário considerar as propriedades mecânicas dos materiais a serem processados, pois a dureza e a resistência a tração são características importantes neste processo.

### **2.1.3 Corte de Chapas Metálicas por Estampagem**

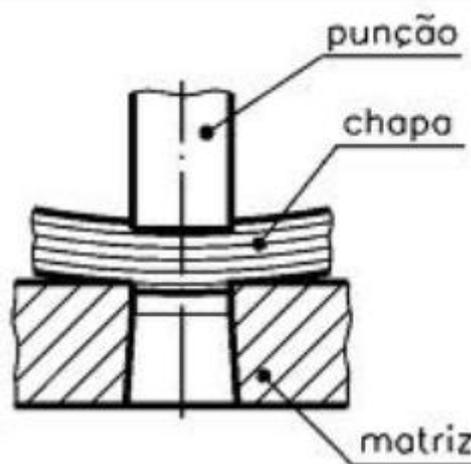
Uma das operações de estampagem, o corte é um dos processos de fabricação dentre vários outros que são utilizados pelas indústrias para a realização de cortes parciais ou finais de uma peça e é executado por um conjunto de ferramentas denominadas punção e matriz. (JIM LESKO, 1998).

O corte por estampagem consiste em um processo de conformação de chapas, realizado geralmente a frio, que compreende um conjunto de operações por meio das quais uma chapa é submetida de modo a adquirir uma nova forma geométrica. É o processo utilizado para fazer com que uma chapa plana ("blank") adquira a forma de uma matriz de corte (fêmea), imposta pela ação de um punção de corte (macho).

O processo é empregado na fabricação de peças de formas simples e complexas como, por exemplo, portas de automóveis, banheiras, rodas, peças para equipamentos diversos, etc.

O princípio do corte por estampagem conforme Chiaverini (1986) se dá sob a ação de uma ferramenta denominada punção de corte que exerce pressão sobre uma chapa fixa apoiada sobre a ferramenta denominada matriz (Figura 1). Esta pressão é exercida sobre o punção de corte que é móvel no sentido vertical contra uma chapa metálica que está sobre a matriz fixa, esta chapa metálica passa por três fases sendo elas: esmagamento, cisalhamento e ruptura.

Figura 1 - Corte por estampagem



**Fonte:** [www.google.com.br](http://www.google.com.br)\_apoio de corte por estampagem

O processo de corte por estampagem em geral é realizado com auxílio de dispositivos denominados estampos (Figura 2) que são instalados em máquinas denominadas prensas do tipo mecânicas ou hidráulicas que são dotadas ou não de dispositivos de alimentação automática de chapas, bobinas ou tiras cortadas e são capazes de produzir peças de formas geométricas variadas.

Figura 2 - Estampo de corte



Fonte: [www.google.com.br\\_estampo de corte](http://www.google.com.br_estampo%20de%20corte)

#### **2.1.4 Ruídos Produzidos pelo Corte de Chapas Metálicas por Estampagem**

Os ruídos causados neste processo de fabricação decorrem da ação realizada pela máquina de estampagem, resultado da ação da força de corte que a máquina aplica sobre o conjunto de ferramentas para obter o resultado desejado, ou seja, realizar a operação estabelecida no processo.

Quanto maior for à força de corte necessária para realizar a operação, maior será o ruído produzido pelo processo, este ruído também pode ser agravado pelo estado em que se encontram as arestas de corte, tanto do punção como da matriz. Se as arestas de corte encontram-se desgastadas, estas cortam um percentual de espessura menor que a habitual, provocando assim, a deformação e a ruptura do restante da espessura do material.

De acordo o Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) a Norma Regulamentadora (NR15 - Atividades e Operações Insalubres), o tempo de exposição das pessoas não deve exceder os limites de tolerâncias fixados no Quadro 1.

Quadro 1 - Nível de ruído e tempo de exposição

| NÍVEL DE RUÍDO dB (A) | MÁXIMA EXPOSIÇÃO DIÁRIA PERMISSÍVEL |
|-----------------------|-------------------------------------|
| 85                    | 8 horas                             |
| 86                    | 7 horas                             |
| 87                    | 6 horas                             |
| 88                    | 5 horas                             |
| 89                    | 4 horas e 30 minutos                |
| 90                    | 4 horas                             |
| 91                    | 3 horas e 30 minutos                |
| 92                    | 3 horas                             |
| 93                    | 2 horas e 40 minutos                |
| 94                    | 2 horas e 15 minutos                |
| 95                    | 2 horas                             |
| 96                    | 1 hora e 45 minutos                 |
| 98                    | 1 hora e 15 minutos                 |
| 100                   | 1 hora                              |
| 102                   | 45 minutos                          |
| 104                   | 35 minutos                          |
| 105                   | 30 minutos                          |
| 106                   | 25 minutos                          |
| 108                   | 20 minutos                          |
| 110                   | 15 minutos                          |
| 112                   | 10 minutos                          |
| 114                   | 8 minutos                           |
| 115                   | 7 minutos                           |

Fonte: portal.mte.gov.br\_nr-15

De acordo com a OSHA, esta fornece informações sobre o processo de regulamentação utilizada para desenvolver normas de saúde e segurança no local de trabalho, não é preciso um ruído excessivamente elevado para gerar problemas no local de trabalho, o mesmo pode interagir com outros perigos e aumentar os riscos para os trabalhadores, os elevados níveis de ruído dificultam a audição e a comunicação dos trabalhadores entre si e aumentam, por conseqüência, a probabilidade de ocorrência de acidentes. Este problema pode ser agravado devido ao stress relacionado com o trabalho.

### 2.1.5 Corte de Chapas Metálicas em Puncionadeiras

O processo de corte de chapas metálicas em puncionadeira pode ser descrito como sendo o processo final ou parcial dependendo do perfil e geometria da peça, pois permite a realização da estampagem de diversas bitolas de chapas, estampagem de furacão de vários perfis, estampagem de perfis e geometria variados de peças, realização de repuxamentos variados e pequenas dobras no caso utilizando ferramentas especiais.

O corte realizado neste processo, nem sempre apresenta bom acabamento nas arestas que sofreram a ação da realização do corte pelo punção e matriz, estes por estarem muitas vezes desgastados ou desalinhados ocasionam nas peças o chamado sobre corte, que nada mais é do que cortar/estampar onde já havia sido cortado/estampado com isso ocorre à geração de rebarbas nas peças, esta ocorrência também pode ser atribuída para folgas excessivas entre punção e matriz. Sendo necessário que estes itens sofram uma operação extra para a remoção desta rebarba, caso não seja feito existe a possibilidade de ocorrer acidentes quando for manusear as peças nesta situação.

## 2.2 PUNCIÓNADEIRAS

Para Roberta Gouveia as máquinas puncionadeiras (Figura 3) são equipamentos utilizados nas mais diversas indústrias que surgiram antes das máquinas a laser e conseguiram substituir operações realizadas pelas prensas. As puncionadeiras se mostraram mais flexíveis que seus similares como as prensas, podendo rapidamente cortar a chapa no formato desejado e sem a necessidade de construção de um estampo.

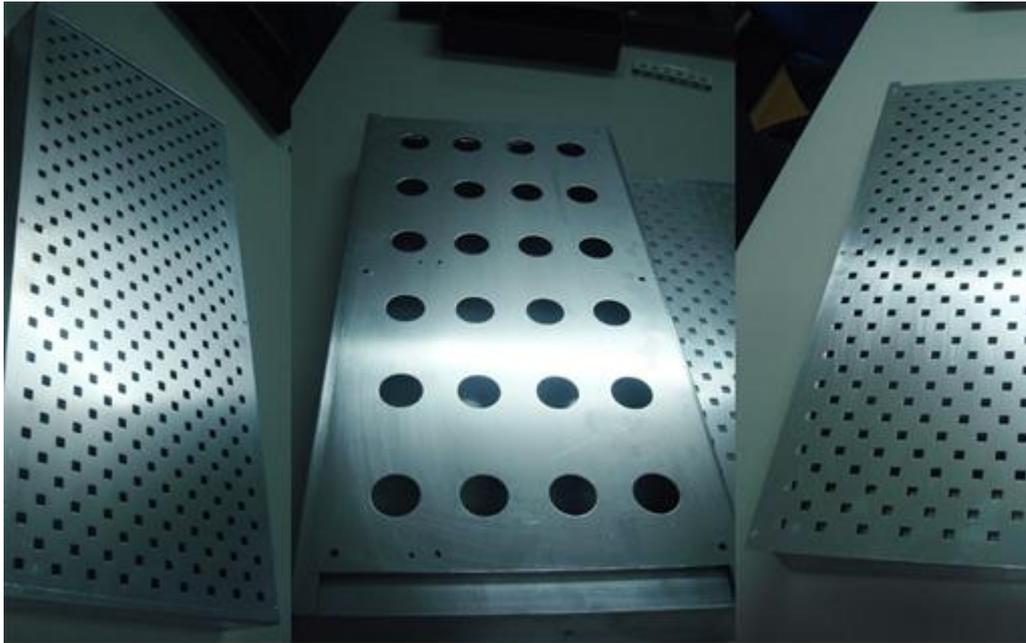
Figura 3 - Puncionadeira Amada Vipros 358 King



Fonte: [www.google.com.br\\_puncionadeira amada](http://www.google.com.br_puncionadeira_amada)

As puncionadeiras são utilizadas para execução de cortes e repuxamentos de chapas metálicas (Figuras 4, 5 e 6) e destacam-se por vários aspectos, especialmente pelo grande número de aplicações na manufatura de peças industriais, principalmente as do ramo metalúrgico.

Figura 4 - Corte por estampagem



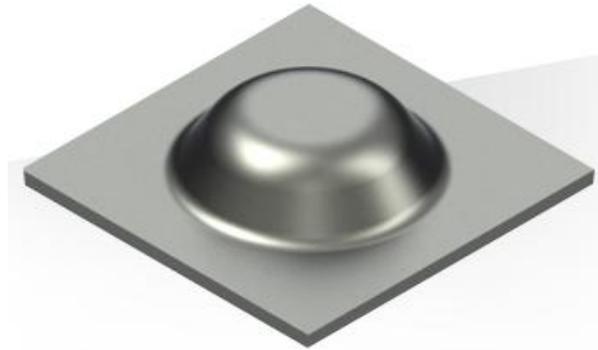
Fonte: [www.google.com.br\\_chapas\\_puncionadas](http://www.google.com.br_chapas_puncionadas)

Figura 5 - Corte e repuxe



Fonte: [http://www.wilsontool.com\\_estampagem\\_e\\_repuxamento](http://www.wilsontool.com_estampagem_e_repuxamento)

Figura 6 - Repuxe



Fonte: [www.wilsoftool.com\\_repuxamento](http://www.wilsoftool.com_repuxamento)

Entre os modelos de puncionadeiras que as empresas aplicam em seus processos destacam-se quanto ao acionamento, o modelo pneumático e o hidráulico. Em relação a outras características, as puncionadeiras diferem-se principalmente quanto:

- A capacidade de estampagem (força);
- Ao tamanho, podendo ser de pequeno, médio ou grande porte;
- Ao deslocamento da chapa sobre a mesa, onde algumas máquinas possuem esferas e outras cerdas que diminuem a incidência de danificações nas peças processadas;
- Ao sistema de acionamento mecânico ou hidráulico;
- A bitola das ferramentas que variam de ½” até 4 ½”
- A capacidade de deslocamento dos eixos principais (X e Y), apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Capacidades usuais de deslocamentos dos eixos

| Eixo X  | Eixo Y  |
|---------|---------|
| 1830 mm | 1270 mm |
| 2000 mm | 1270 mm |
| 1830 mm | 1525 mm |

Fonte: Elaborado pelo Autor

A puncionadeira Amada Vipros 358 King (Figura 3) que é um dos modelos que a empresa em estudo possui, tem capacidade de 30 toneladas e realiza até 1200 puncionamentos por minuto. O deslocamento da chapa é de 80 metros por minuto nas coordenadas X e Y e de 113 metros por minutos em movimentos simultâneos dos mesmos eixos. Este modelo é dotado de um magazine equipado com 58 conjuntos de ferramentas sendo que destes, 4 são conjuntos auto-index que são estações especiais pois permitem que os conjuntos rotacionem 360°, permitindo a realização de operações em vários sentidos de corte. Essas características de puncionamentos e deslocamentos podem variar de acordo com a espessura do material que está sendo processado, quanto mais espessa for à chapa, menores serão estes valores.

Os recursos disponibilizados pelas máquinas puncionadeiras oferecem versatilidade e flexibilidade na manufatura de chapas metálicas, constituindo vantagens em relação a outros processos empregados no processamento de componentes metálicos, especialmente nos itens que possuem saliências, como por exemplo, repuxos antiderrapantes ou para roscamento.

Outra aplicação comumente do processo é a utilização de ferramentas multifuros (Figura 7), que é uma ferramenta capaz de realizar várias perfurações em uma só pancada, agilizando o processamento de peças que possuem grande quantidade de furos, garantindo precisões de distâncias entre centros.

Figura 7 - Ferramentas especiais.



### 2.2.1 Características das Peças Processadas em Puncionadeiras

As peças processadas em máquinas puncionadeiras possuem normalmente recortes, furacões de perfis do tipo redondos, oblongos, sextavados, triangulares e especiais e repuxamentos diversos.

De uma forma geral, as puncionadeiras possibilitam a abertura de orifícios que variam de acordo com o ferramental disponível e na indústria em questão são utilizadas ferramentas redondas de diâmetro 2,9 mm a 71 mm, ferramentas de perfil quadrado até 55 mm entre outras e, para cortes de contornos externos, utiliza punções de aproximadamente 10 mm de largura e comprimentos que variam entre 30 e 110 mm. Contornos internos são realizados com ferramentas selecionadas de acordo com seus perfis e suas dimensões levando-se em consideração o fato de que o material removido será ou não aproveitado posteriormente.

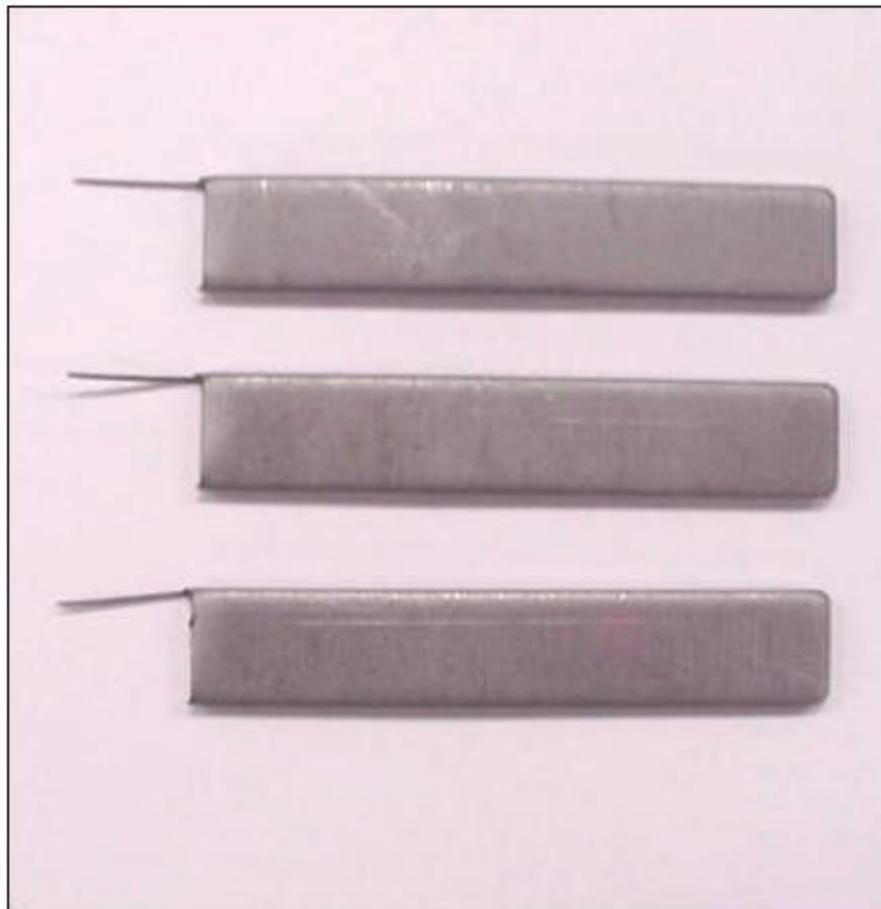
As características dimensionais são relativas às ferramentas usadas para o processo, dependendo da folga usada, as dimensões variam para mais ou para menos, quanto maior a folga, maior será a variação da medida e quanto menor for a folga, mais preciso será a medida, porém uma folga muito pequena pode causar danos à ferramenta punção, ou até mesmo prender a ferramenta punção na matriz.

As peças produzidas em puncionadeiras podem variar tanto na largura como no comprimento e a única restrição é que a medida da chapa não pode ultrapassar a medida limite do eixo "Y". Em relação ao comprimento, a chapa pode ultrapassar o valor limite do eixo "X", pois a máquina permite que no momento da programação para a execução de peças que tenham comprimento superior ao limite da máquina seja usado o comando ao qual permite que a máquina reconheça o mesmo e realiza o reposicionamento da chapa atendendo a necessidade para a fabricação do item em processo.

Na empresa em estudo o processo de puncionamento em chapas é realizado com espessuras que variam de 0,9 mm a 4,75 mm, porém Jim Lesko (1998), afirma que o puncionamento de chapas é limitado a uma espessura máxima de .250" (6,35mm). O puncionamento em máquinas denominadas puncionadeiras é executado por ferramentas que estão armazenadas em magazine porta ferramentas da máquina e realiza esta operação utilizando geralmente o CNC (comando numérico computadorizado), que permite que a troca de ferramenta possa ser feita de forma rápida e eficaz, otimizando o tempo de fabricação da peça.

As características superficiais das arestas das peças processadas em puncionadeiras possuem aspectos que variam principalmente pela espessura da chapa, pelas ferramentas que são usadas, das condições das arestas de corte e do alinhamento das ferramentas, em caso de utilização de ferramentas com folga incorretas (maior) o acabamento das peças terá rebarbas. No caso de ferramentas desalinhadas (punção e matriz), o principal aspecto apresentado é no cavaco (Figura 8), ou a presença de rebarbas no perfil externo da peça, pois quando ocorre o puncionamento posterior, o mesmo sobrepõe o puncionamento já executado anteriormente cortando parte do material em posição diferente do puncionamento anterior.

Figura 8 - Cavaco resultante de punção e matriz desalinhados.



**Fonte:** Elaborado pelo Autor

## 2.2.2 Ferramentas de Puncionamento

No processo de corte em puncionadeiras, quando não se tem a ferramenta ideal para a realização de uma determinada operação, torna-se necessário a utilização de ferramentas que não possuem formas e dimensões ideais para a necessidade, utiliza-se nestes casos ferramentas de dimensões menores as quais exigem vários golpes (pancadas) para produzir o perfil desejado.

As ferramentas de puncionamento trabalham em conjunto, sendo elas: punção e matriz, e pra que este conjunto trabalhe corretamente é necessário que haja folga entre eles, esta folga pode ser determinada pela medida do espaço entre o punção de corte e a matriz de corte. Para um acabamento adequado na superfície de corte, é necessário que a folga seja bem planejada (tipicamente de 2 a 15% da espessura da chapa a ser puncionada). Folgas insuficientes causam o desencontro das trincas (rasgamento secundário), já folgas excessiva causam intensa deformação plástica. Neste segundo caso, dão origem a rebarbas e saliências agudas aparecem na borda superior (SCHAEFFER, 1999).

Segundo MÉROZ e CUENDET (1980), a folga diametral entre punção e matriz pode ser definida como: 7% da espessura para metais duros (aços), 6% para aços semi-duros e de 4 a 5% para metais moles (latão e alumínio).

Para ALTAN (1998), a folga ótima de corte está entre 2 a 10% da espessura da chapa, sendo que o valor mais baixo aplica-se a chapas de metais mais finos ou mais dúcteis.

Já para SCHAEFFER (1999), a folga recomendada para o cisalhamento de chapas finas de baixo carbono é de 3 a 5 % da espessura da chapa.

Em uma operação de corte ideal, o punção penetra no material a uma profundidade igual à aproximadamente 1/3 da espessura da chapa antes da fratura ocorrer, forçando então uma porção igual de material na abertura da matriz (SCHAEFFER, 1999).

A medida precisa da folga de corte depende da espessura da chapa, tensão e força de cisalhamento, como também da velocidade corte, do tipo de corte da chapa puncionada (com ou sem ângulo de folga) e a qualidade exigida da superfície cortada. Uma maior folga de corte geralmente reduz a força necessária e o trabalho requerido, e também reduz o desgaste da ferramenta e com uma pequena folga, em

contrapartida, melhora a qualidade da superfície cortada e maior precisão da peça são freqüentemente alcançadas. (ALTAN, 1998)

### **2.2.3 Custos De Ferramentas Para Puncionamento (Aquisição E Manutenção)**

Os custos dos ferramentais utilizados para as máquinas puncionadeiras podem ser atribuídos aos investimentos necessários para a substituição das danificadas, investimentos de novas ferramentas para atender algum tipo de especificação técnica como, por exemplo: dobras e repuxes, nas manutenções necessárias para garantir bom rendimento das ferramentas e investimentos para a realização da afiação das mesmas.

### **2.2.4 Ruídos Produzidos no Corte em Puncionadeiras**

O processo de corte em máquinas puncionadeiras realizado geralmente em chapas metálicas, ocorre através de golpes ou pancadas, aplicados pelo martelo excêntrico ou pneumático sobre o punção, sendo este que prensa a chapa sobre a matriz, realizando o corte e/ou a estampagem do material de acordo com a ferramenta em uso. Esta operação também tem como resultado a geração de ruídos, este ruído varia de acordo com o tipo de ferramenta que está sendo utilizado e as propriedades e espessuras dos materiais, quanto mais espessa e com maior dureza for o material, maior será o ruído causado no processo.

O excesso de ruído ou a exposição superior ao tempo máximo diário permissível no local de trabalho podem causar prejuízos à saúde do trabalhador, como: cansaço, irritação, dores de cabeça, diminuição da audição, aumento da pressão arterial, problemas do aparelho digestivo, taquicardia e perigo de infarto.

## **2.3 CORTE DE CHAPAS METÁLICAS POR RAIOS LASER**

A palavra laser é uma sigla derivada do princípio básico que está por trás deste instrumento: amplificação da luz pela emissão estimulada da radiação ("Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation"), ou seja, um meio ativo (para o laser) é excitado e gera o raio. Podemos dizer, em termos industriais que, como

ferramenta de manufatura, basicamente são empregados dois tipos de laser: a gás e de estado sólido.

De acordo com o site Bystronic (2007), o corte a laser é um processo térmico de separação empregado para processar chapas. Neste tipo de corte, o feixe de raio laser é gerado na fonte de geração (ressonador) e conduzido para o cabeçote de corte da máquina (Figura 9) através de um espelho ou por uma fibra de transporte. No cabeçote, o raio laser é focalizado através de uma lente em um diâmetro pequeno e de grande potência, que atinge a chapa que é fundida, produzindo o corte. As máquinas denominadas centros de corte a laser da marca Bystronic utilizam dois tipos diferentes de fontes de raio laser: laser de CO2 ou laser de fibra.

Figura 9 - Máquina de corte a laser.



**Fonte:** [www.skycortealaser.com.br\\_máquina de corte a laser](http://www.skycortealaser.com.br_máquina%20de%20corte%20a%20laser)

Segundo Weiss (2012), o processo de corte a laser é atualmente, bastante utilizado para efetuar corte em perfis definitivos e em muitos casos, pode substituir os processos de fabricação como furação por usinagem e corte por estampagem.

O corte a laser é extremamente versátil, pois além de cortar materiais planos, também permite processar tubos e perfis. Quanto aos materiais, corta-se a laser, principalmente aço carbono, aço inoxidável e alumínio sendo que as espessuras das chapas processadas variam de acordo com o material em processo.

- **Aços não ligados:** Podem ser facilmente cortados a laser, principalmente se o gás de assistência for o oxigênio. A qualidade de corte é boa,

produzindo pequenas larguras de corte e bordas retas, sem rebarbas e livre de óxidos.

- **Aços inoxidáveis:** Chapas finas podem ser cortadas com excelente resultado. Não é possível cortar chapas tão espessas como as de aços não ligados.
- **Aços-ferramenta:** São difíceis de cortar por outros métodos convencionais, por causa do alto teor de carbono, mas apresentam boa qualidade de superfície, quando cortados a laser.
- **Alumínio e suas ligas:** A espessura máxima que pode ser cortada a laser situa-se em torno de 10 mm no máximo, pois, o alumínio reflete a luz e é bom condutor de calor, dificultando a concentração de energia.
- **Cobre e suas ligas:** Assim como o alumínio, também apresenta tendências a refletir a luz. Para o corte de peças não planas, é extremamente importante a proteção contra radiação refletida.
- **Titânio e suas ligas:** Pode ser cortado a laser, desde que a zona de corte seja protegida por um gás inerte (CO<sub>2</sub>, He, N<sub>2</sub>), que evita a oxidação pelo ar. Na face posterior do corte deve ser injetado um gás igualmente inerte, que ajuda a eliminar as gotas ardentes de metal fundido.
- **Outros materias:** O laser corta ainda vários outros materiais não metálicos como: polímeros, têxteis, couro, cerâmica, rochas etc.

De acordo com Morais e Borges (2010), no processo de corte a laser, a energia elétrica é transformada em uma luz com um só comprimento de onda ( $\lambda$ ), que concentra energia de forma eficaz. O meio para formação do laser pode ser sólido (rubi-YAG) ou gasoso (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> ou He). Como nos demais processos de corte térmico, no corte por laser é empregado um gás de assistência, dentre os quais os mais utilizados são: o oxigênio, o nitrogênio ou o ar comprimido. A definição da combinação entre o gás de assistência e o metal cortado é feita conforme a espessura, a velocidade e a qualidade de cortes necessárias, para as peças a serem obtidas.

Segundo Joaquim e Ramalho (2010), o corte de materiais por laser é um processo bastante flexível por produzir superfícies de corte com alta qualidade. Uma de suas principais utilizações é sem dúvida a execução de pequenos lotes (protótipos), uma vez que não é necessária a construção de ferramental.

### 2.2.3 Centro de Corte a Laser

A máquina denominada centro de corte a laser (Figura 10) é um equipamento que utiliza alta tecnologia que funciona integrada a um sistema CAD/CAM. Nesse sistema, desenvolve-se um minucioso projeto que é tomado como guia de um arquivo do desenho do projeto, que será executado no material trabalhado. O processo é rápido e eficiente, não demandando o desenvolvimento de ferramentas. Em pouquíssimo tempo (milésimos de segundo) a máquina de corte a laser executa o trabalho, permitindo que projetos, com diversos detalhes e perfis complexos sejam executados.

Figura 10 - Centro de Corte a Laser.



Fonte: [www.bystronic.com.br\\_máquina laser](http://www.bystronic.com.br_máquina_laser)

### 2.2.4 Tipos de Centros de Corte a Laser

Os centros de corte a Laser podem ser classificados através de vários aspectos, pois o mercado está bastante competitivo, podemos classificar de forma ampla pelo alcance dos eixos X e Y, pela capacidade de potência que a máquina possui, considerando a tecnologia empregada no desenvolvimento de software para atender de forma rápida as necessidades de programação exigida possibilitando melhores resultados na qualidade do corte dos itens que compõem o produto final e na otimização dos parâmetros de ajustes realizados pelos operadores das

máquinas, já nos modelos mais recentes, os softwares disponíveis permitem que seja feito automaticamente a limpeza, a centragem e a troca do bico de corte, processo este que reduz o tempo de setup aumentando produtividade.

- Uma única ferramenta de corte para todo o contorno;
- Não existe desgaste da ferramenta;
- Alta qualidade do corte;
- Corte sem contato mecânico;
- Trabalho com peças tridimensionais;
- Programação flexível.

Uma máquina de corte a laser de alta velocidade permite a redução dos custos de produção em até 40%. Graças aos acionamentos lineares, as velocidades de corte alcançam até 40 m/min. Chapas com espessuras de 25 mm podem ser cortadas com o laser CO<sub>2</sub>, com facilidade e economia, conforme TRUMPF 2010.

### **2.2.5 Aplicações dos Centros de Corte a Laser**

Atualmente os centros de corte a laser estão sendo empregados na maioria das empresas de médio e grande porte do ramo metalúrgico, pois o processo aplicado apresenta inúmeras vantagens em relação aos demais processos de corte de chapa metálica.

De acordo com a Bystronic (2013), a elevada flexibilidade na fabricação, unida a uma quase infinita gama de materiais e formas, justifica o reconhecimento mundial do corte laser.

As capacidades de corte, ou seja, as espessuras das chapas metálicas que podem ser trabalhadas dependem basicamente do tipo de material e da potência do laser a ser empregado. Outros valores também colaboram para a qualidade do corte, tais como uma boa instalação do equipamento em piso industrial isento de vibrações providas de outros equipamentos, a qualidade do material da chapa, observação das especificações para os gases de corte, qualidade do abastecimento de energia elétrica e ambiente limpo.

### 2.2.6 Características das Peças Cortadas a Laser

O processo de corte a laser permite produzir peças complexas e precisas, com juntas de corte mínimas permitindo assim realizar tarefas extremamente delicadas, possibilitando uma imediata resposta na alteração de projetos, ao mesmo tempo em que garante a qualidade e exatidão na produção de grandes quantidades.

De acordo com o site Trumpf, quando se fala em corte a laser, não só se imagina um corte limpo, sem a necessidade de retrabalho, com arestas planas e bem definidas, mas também, e mais importante, um corte com boas tolerâncias dimensionais (conforme a norma VDI/DGQ 3441):

- Mínimo incremento programável: 0,01 mm;
- Precisão da peça cortada: + ou - 0,1 mm;
- Repetibilidade: + ou - 0,03 mm.

Segundo Joaquim e Ramalho (2010), o corte de materiais por laser é um processo bastante flexível por produzir superfícies de corte com alta qualidade. Uma de suas principais utilizações é sem dúvida a execução de pequenos lotes (protótipos), uma vez que não é necessária a construção de ferramental. Outras aplicações importantes são:

- Corte de geometrias complexas difíceis de produzir por outros processos;
- Corte pulsado preciso, para aços ferramenta;
- Materiais difíceis de cortar por outros processos, como por exemplo: titânio, alumínio;
- Materiais não metálicos: madeiras, placas de propaganda, tecidos, etc.

### 2.2.7 Custos do Corte a Laser

Nos custos da hora do corte a laser estão inclusos alguns dos itens que compõe o todo, desta forma foram citados os custos relacionados a operadores, custo de manutenção dos CCLs (Centro de Corte a Laser), custo de gases consumidos no processo, custo da área ocupada pelo equipamento, etc.

A Trumpf afirma que quando as primeiras máquinas de corte a laser surgiram, obviamente destinavam-se ao corte de chapas metálicas finas de um, dois ou três milímetros. A partir de então, criou-se um paradigma de que o laser só era

economicamente viável para estas chapas. Nada mais verdadeiro para a época. Porém, dada a espantosa evolução tecnológica desses equipamentos, esse paradigma foi quebrado já há algum tempo. A questão principal agora é como calcular corretamente os custos operacionais do processo. Somado aos custos de mão-de-obra, obtemos o que comumente chamamos de custo hora-máquina.

Os custos operacionais são compostos de custos fixos e custos variáveis.

Os custos fixos são compostos de:

- Valor total do equipamento, nacionalizado e instalado;
- Taxa de retorno do investimento;
- Valor do espaço de instalação;
- Valor dos componentes de automação (carregador de chapa, etc).

Designamos de custos variáveis aqueles que dependem do material a ser cortado e da respectiva espessura. São compostos de:

- Custos de energia elétrica;
- Custos dos gases de corte;
- Custos dos consumíveis (espelhos, lentes, bicos, filtros, etc);
- Custos dos gases do laser
- Custos de ar comprimido ou nitrogênio para a pressurização da guia do laser ou para o resfriamento do ressonador, caso seja a laser de fibra óptica, e
- Custos de manutenção preventiva e corretiva com base em estatísticas de ocorrências "up time" e peças de reparo.

### **2.2.8 Ruídos Produzidos no Corte a Laser**

Os ruídos causados no processo de corte a laser são considerados baixos em relação aos causados no processo de corte por punção, pois no processo de corte a laser não se aplica golpes para a realização do corte, porém este processo de corte também produz ruídos, estes podem ser destinados aos movimentos causados pelos eixos que deslocam o cabeçote para a posição de corte e também das pressões causadas pelos gases que são necessários no processo, mesmo estes ruídos sendo considerados baixos não se aconselha a exposição direta por tempos

prolongados, pois a constante exposição poderá causar danos a saúde do trabalhador.

### **2.2.9 Riscos Gerados no Processo de Corte a Laser**

No processo de corte a laser existem outros riscos que devem ser observados, desta maneira podemos considerar os agentes físicos, químicos, biológicos, ergonômicos e os riscos de acidentes de trabalho, estes são capazes de causar danos à saúde e à integridade física do trabalhador em função de sua natureza, concentração, intensidade, suscetibilidade e tempo de exposição. De maneira geral os riscos podem ser considerados como sendo qualquer possibilidade que represente perigo:

- Riscos Físicos: são efeitos gerados por máquinas, equipamentos, condições e características do local de trabalho que podem causar prejuízos à saúde do trabalhador, destacam-se ruídos, vibrações, calor, frio, umidade e radiação.
- Riscos químicos: são representados pelas substâncias químicas que se encontram nas formas líquida, sólida e gasosa. Quando absorvidas pelo organismo, podem produzir reações tóxicas e danos à saúde.
- Riscos ergonômicos: são considerados como sendo riscos contrários às técnicas de ergonomia, estas propõem que os ambientes de trabalho se adaptem ao homem, proporcionando o bem-estar físico e psicológico. Os riscos ergonômicos estão ligados também a fatores externos (do ambiente) e internos (do plano emocional), em síntese, quando há disfunção entre o indivíduo e seu posto de trabalho. Os esforços físicos, levantamento e transporte manual de peso acima de 23 kg regulamentado pelas leis trabalhistas da empresa e exigências de posturas inadequadas para a realização das atividades.
- Riscos de acidentes: ocorrem em função das condições físicas (do ambiente físico e do processo de trabalho) e tecnológicas, impróprias, capazes de provocar lesões à integridade física do trabalhador.

### 3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho pesquisou-se informações em livros, artigos, dissertações de mestrados e teses de doutorados, caracterizando a pesquisa bibliográfica. Buscou-se o entendimento dos processos de corte relacionados ao projeto com a finalidade de compreender suas características quanto ao corte de chapas metálicas.

Após esta etapa realizou-se o mapeamento dos itens processados atualmente em máquinas punçoneiras, descrevendo as fases em que cada item passa para atender as características técnicas especificadas em desenho, caracterizando a pesquisa descritiva, dando prosseguimento, foram visualizados todos os desenhos relativos em sistema computacional verificando todos os processos de fabricação empregados para a fabricação do item.

#### 3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

A busca das informações necessárias para elaboração se deu através de uma pesquisa em referenciais bibliográficos, pois conforme Jung (2004), este tipo de pesquisa permite conhecer as diversas formas de contribuições existentes que foram realizadas a respeito de certo assunto, podem ser encontradas em materiais conforme citada no item anterior.

A pesquisa é uma atividade essencial para o desenvolvimento do conhecimento, buscam-se novos dados, propostas e ações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental (BARICHELLO, 2011).

Neste estudo utilizou-se a abordagem quantitativa, que é o método onde os resultados podem ser traduzidos em números. Conforme Gil (1999), este método considera que as informações pesquisadas podem ser quantificáveis, traduzindo em números e informações para posteriormente classificá-las e analisá-las.

Conforme Lakatos e Marconi (2002), ao utilizar a pesquisa exploratória, a esta proporciona ao pesquisador maior familiaridade com o ambiente de estudo e diversas técnicas de coleta de dados: entrevista, observação participante e análise de conteúdo.

Para a realização deste projeto foi elaborado o mapeamento base de todos os itens que atualmente são processados em máquinas punçoneiras. O mapeamento foi realizado de acordo com a sequência abaixo:

- Códigos dos itens;
- Material que o item é composto;
- Espessura do material;
- Classe do material;
- Centro de trabalho;
- Tempo do processo atual;
- Demanda anual;
- Repuxo presente no item;
- Classificação quanto à quantidade de furos;
- Ferramentas especiais;
- Descrição do processo;
- Itens que devem ficar livres de óxido.

Após o levantamento, iniciou-se a análise dos dados, completando-se as informações necessárias para o entendimento e estudo posterior sobre a possibilidade e viabilidade na alteração de processo de acordo com os dados obtidos.

- Mapeamento dos itens;
- Preenchimento das lacunas do mapeamento;
- Realização de verificação dos dados já existentes;
- Programação 2D para máquina de programação CNC;
- Obtenção de dados de tempo do processo proposto;
- Análise e comparação dos dados existentes com os coletados;
- Proposta de material para propor alteração no processo;
- Identificação dos itens para este processo proposto;
- Verificação dos resultados deste processo;
- Comparação de resultados entre os processos.

### 3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

No mapeamento dos itens foi utilizado um sistema computacional para verificação visual dos desenhos e roteiros de processo necessários para a conclusão do item, bem como equipamentos para a coleta de ruídos decorrentes do processo de corte nas máquinas puncionadeiras. Também foi utilizado software TYSOST denominado também de By Basse o qual possibilita a geração de tecnologia de corte para coletar os tempos dos itens no processo de corte em máquinas de corte a laser.

### 3.3 DESCRIÇÃO DA AMOSTRA

Para comparar o processamento atual com o alternativo selecionou-se dez tipos de blanks de comprimentos entre 830 e 2200 mm e de espessuras iguais a 1,5 mm e comparou-se com situações onde utilizou-se somente um blank de mesma espessura e comprimento de 3000 mm.

Nesta etapa foram identificados a partir de critérios estabelecidos no mapeamento dos itens, situações que impedem a substituição de processo, como por exemplo, a existência de operação de repuxe e/ou a grande quantidade de furos realizados com ferramentas especiais sendo estas, questões relevantes na escolha do processo de fabricação a empregar.

Com a definição dos aspectos a serem considerados, realizou-se o processo de geração de tecnologia das peças para corte em centros de corte a laser, obtendo-se assim os tempos que esse corte demanda. Levantados os tempos no corte a laser, confrontou-se e comparou-se com os tempos do processamento empregado atualmente, realizado em máquinas puncionadeiras.

Com os resultados da comparação, foi possível calcular os custos de cada processo, definir operações passíveis de eliminação, determinar ganhos em tempos de corte, visualizar reduções de movimentação de matéria prima e de peças em processo, definir valores de redução de área de armazenagem de matéria prima e prever melhores aproveitamentos de matéria prima, reduzindo o percentual de sucata.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo estão apresentados os processos de corte relacionados ao trabalho, os dados coletados e analisados e os resultados obtidos.

### 4.1 DEPARTAMENTO DE MANUFATURA DA EMPRESA EM ESTUDO

O departamento de primários (setor de processamento de corte de chapas por máquinas de corte a laser e puncionadeiras) da empresa aplica diversos processos de fabricação na produção de componentes de seus produtos finais e foram estudados o corte por puncionamento e corte a laser (Figuras 11 e 12).

Figura 11 - Corte por Estampagem.



Fonte: [www.aztech.ind.br\\_puncionamento](http://www.aztech.ind.br_puncionamento)

Figura 12 - Corte a Laser.



Fonte: [www.cortejatoagua.com.br\\_corte\\_laser](http://www.cortejatoagua.com.br_corte_laser)

## 4.2 ITENS MANUFATURADOS PELO PROCESSO DE CORTE POR PUNÇIONAMENTO

O processo de corte por punçionamento continua sendo empregado por grande parte das indústrias metalúrgicas por ser um processo que geralmente se emprega para itens que possuem características geométricas simples e/ou com elevado número de furos, porém, dependendo da necessidade de alteração do projeto, necessita de ferramenta especial, elevando os custos e/ou tornando o processo inviável tecnicamente. Na empresa em estudo, o processo de fabricação por punçionamento é empregado para processar 1074 itens de aço carbono com espessuras que variam de 0,9 a 4,75 mm distribuídos em sete máquinas diferentes. Para a liberação destes itens para as áreas de dobramento, soldagem, pintura ou diretamente para a linha de montagem, muitas vezes, executa-se outras operações que são realizadas antes ou depois do corte por punçionamento. Dentre estas operações, inclui-se geralmente, o corte em tesoura guilhotina, necessário para a conclusão da operação de corte.

## 4.3 ITENS MANUFATURADOS PELO PROCESSO DE CORTE A LASER

O processo de corte a laser oferece flexibilidade no processo permitindo alterações de projeto de forma rápida não necessitando de ferramental especial, tendo assim uma grande vantagem sobre o corte por punçionamento.

São muitas as vantagens do uso do corte a laser, o que justifica o amplo emprego atualmente verificado em todos os setores da indústria metal-mecânica, onde podemos ressaltar as seguintes vantagens:

- Uma única ferramenta de corte para todo o contorno;
- Não existe desgaste da ferramenta;
- Alta qualidade do corte;
- Corte sem contato mecânico;
- Trabalho com peças tridimensionais;
- Programação flexível.

Na empresa onde o trabalho foi realizado, são processados pelo processo de corte a laser em torno de 7.000 itens de chapas de aço carbono com espessuras

que variam de 0,9 a 12,5 mm distribuídos em 14 centros de corte a laser. As matérias primas utilizadas possuem os comprimentos e as larguras indicadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Dimensões das matérias primas

| Comprimentos e larguras da chapas processadas nos centros de corte a laser |
|--|
| 1200 x 3000 mm   |
| 1500 x 3000 mm   |
| 1200 x 4000 mm   |

**Fonte:** Elaborado pelo Autor

#### 4.4 RELAÇÃO ENTRE ITENS MANUFATURADOS POR PUNÇIONAMENTO E POR CORTE A LASER

Com a definição dos aspectos a serem considerados, realizou-se a programação 2D para máquina de comando CNC, que gerou a sequência de corte e o tempo de processamento. Após esta etapa, os valores de tempos de corte a laser gerados pela programação foram confrontados com os valores do processo aplicado atualmente, que é o corte por punçionamento. Com os resultados da comparação, foi possível calcular os custos de cada processo, definir operações passíveis de eliminação, determinar ganhos em tempos de corte, visualizar reduções de movimentação de matéria prima e de peças em processo, definir valores de redução de área de armazenagem e prever melhores aproveitamentos de matéria prima, reduzindo o percentual de sucata.

Como as indústrias trabalham focadas em produzir mais com o mesmo material e em menos tempo, o processo mais indicado para atender estes requisitos atualmente é o corte realizado em centros de corte laser, pois este apresenta vantagens comparando-o com o corte por punçionamento, tanto em velocidade de corte como em acabamento da superfície cortada. Como regra geral, corte a laser não é o processo mais indicado para manufaturar peças que possuem elevado

número de furos e/ou peças que necessitam de operações especiais como, por exemplo, repuxamentos.

#### 4.5 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Para executar o levantamento de dados, foram mapeados 100% dos itens processados nas puncionadeiras da empresa e o resumo do mapeamento destes itens está apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 – Resumo do Mapeamento

| Itens mapeados | Blanks diferentes | Espessuras dos blanks | Itens com repuxo | Itens c/ elevado números de furos | Quantidade de operações aplicadas |
|----------------|-------------------|-----------------------|------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1074           | 163               | 16                    | 135              | 94                                | 10                                |

**Fonte:** Elaborado pelo Autor

Para o desenvolvimento do trabalho analisou-se parte do mapeamento, que serviu de base para este e servirá também para trabalhos futuros. Todos os dados coletados e analisados referem-se a 70 itens (peças) de aço carbono de espessura 1,5 mm, produzidos atualmente em 10 blanks de diferentes comprimentos, identificados e apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 – Descrição de blanks analisados

| Blanks que variam entre 830 e 2200 mm de comprimento |         |
|--|---------|
| CQ85369  | CQ85377 |
| CQ85371  | CQ85378 |
| CQ85373  | CQ85380 |
| CQ85374  | CQ85382 |
| CQ85375  | CQ85384 |

**Fonte:** Elaborado pelo Autor

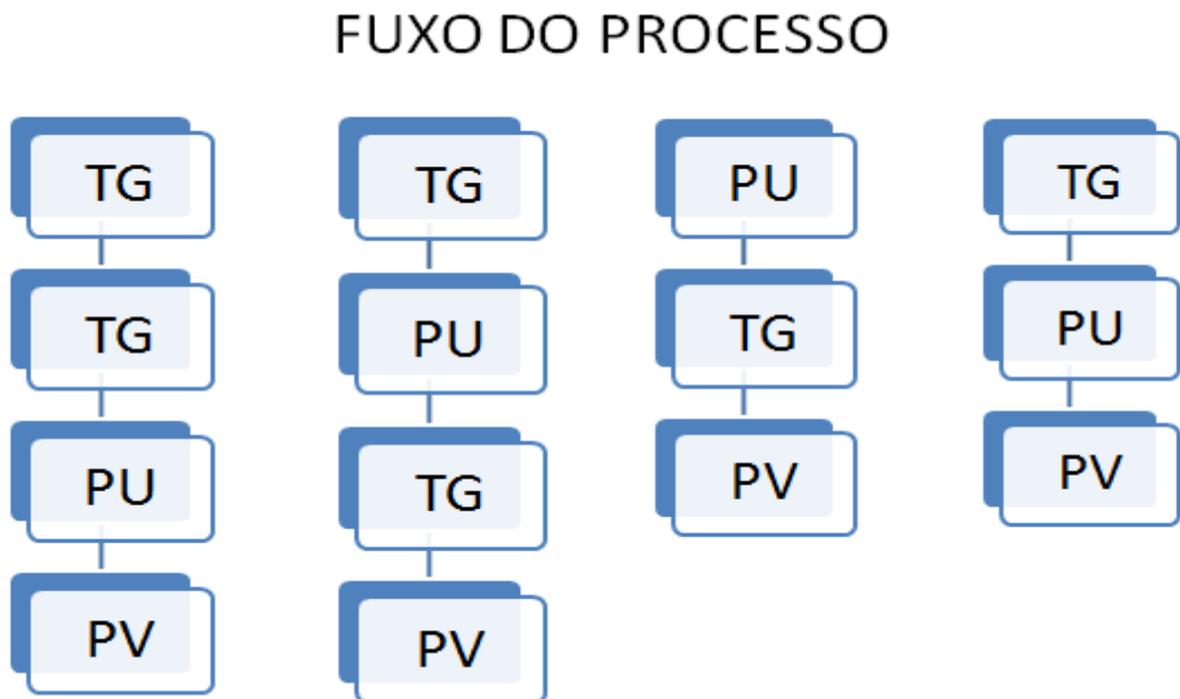
Para a seleção dos blanks foram analisados os seguintes critérios:

- Demanda de fabricação;

- Quantidade de blanks utilizados;
- Desperdício de matéria prima;
- Número de operações que os itens demandam;
- Fluxo do processo.

Para o processamento das 70 peças analisadas, a empresa aplica quatro diferentes sequenciamentos de máquinas na forma vertical que estão ilustrados na Figura 13, considerando-se as designações TG para tesoura guilhotina, PU para puncionadeira e PV para prensa viradeira.

Figura 13 - Sequenciamento do processo atual.



**Fonte:** Elaborado pelo Autor

Analisando os sequenciamentos aplicados concluiu-se que os mesmos são inadequados, especialmente em função da grande quantidade de operações aplicadas para a manufatura dos itens analisados. Algumas das principais perdas decorrentes destes seqüenciamentos estão listadas a seguir:

- Necessidade de equipamentos para movimentação;
- Necessidade de espaço para armazenamento entre operações;
- Manuseio do mesmo item várias vezes;
- Risco de acidentes durante movimentação.

O Quadro 6 apresenta dados relativos ao processamento dos 70 itens analisados, considerando a demanda anual dos mesmos no processo de fabricação por corte em máquinas puncionadeiras e em tesouras guilhotinas.

Quadro 6 - Processo atual dos itens analisados.

| Itens de espessura 1,5 mm cortados em PUs e TGs |                 |            |                       |
|---|-----------------|------------|-----------------------|
| Máquinas  | Nº de operações | Horas/ano  | Custo de operação (%) |
| PU000006  | 30              | 83         | 20,19%                |
| PU000007  | 12              | 107        | 26,03%                |
| PU000011  | 26              | 168        | 40,88%                |
| PU000012  | 2               | 21         | 5,11%                 |
| TG000020  | 1               | 1          | 0,24%                 |
| TG000021  | 18              | 31         | 7,54%                 |
| <b>Totalização</b>                              | <b>89</b>       | <b>411</b> | <b>100%</b>           |

**Fonte:** Elaborado pelo Autor

Para o corte dos 70 itens são empregadas quatro máquinas puncionadeiras e duas tesouras guilhotinas. O processamento total (corte) é executado em 89 operações que demandam 411 horas/ano.

No Quadro 7, considera-se os mesmos critérios estabelecidos no Quadro 6, porém o processo considerado é o corte a laser realizado em centros de corte a laser (CCLs).

Quadro 7 - Processo proposto para os itens analisados.

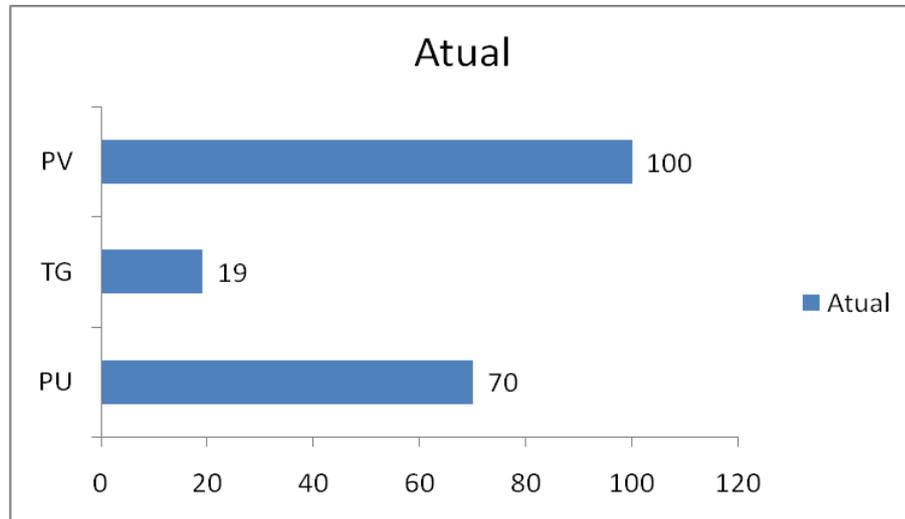
| Itens de espessura 1,5mm cortados em CCLs |                 |           |                       |
|---|-----------------|-----------|-----------------------|
| Máquinas                                  | Nº de operações | Horas/ano | Custo de operação (%) |
| CCL                                       | 70              | 321       | 100%                  |

**Fonte:** Elaborado pelo Autor

Analisando as duas situações levantadas, é possível afirmar que, se o processo destes 70 itens for alterado de corte por puncionamento para corte a laser, elimina-se 19 operações de processamento, conforme demonstrado a seguir.

A Figura 14 demonstra os tipos de máquinas que são utilizadas para o processamento atual dos itens analisados e o número de operações que cada máquina realiza.

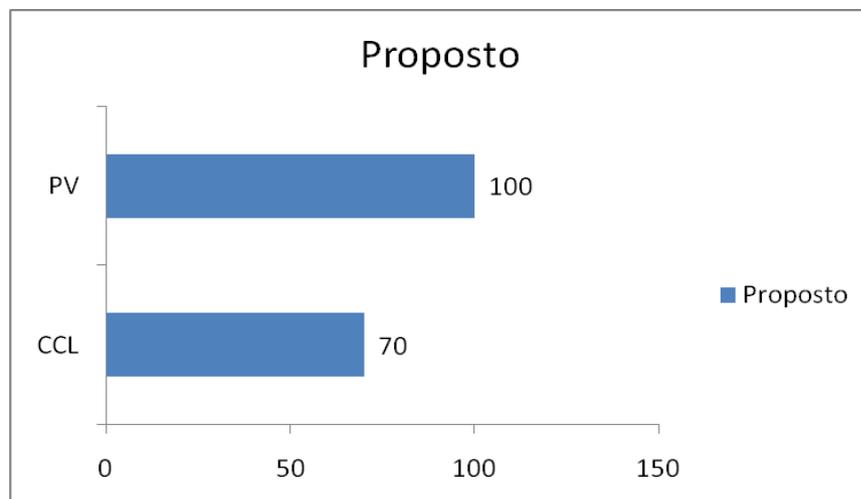
Figura 14 - Processo atual.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Na sequência, a Figura 15 demonstra os tipos de máquinas que serão empregadas no processamento proposto onde, os itens anteriormente cortados em tesoura guilhotina e em puncionadeira serão cortados em centros de corte a laser. Desta forma elimina-se 19 operações de corte, reduzindo movimentações com matéria prima, ruídos, setups e utilização de equipamentos de movimentação, entre outros.

Figura 15 - Processo proposto.

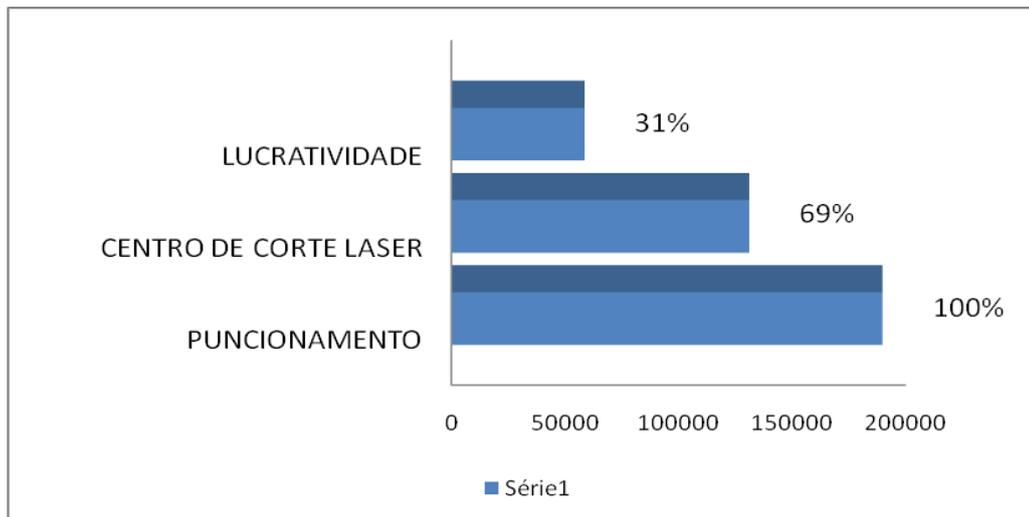


Fonte: Elaborado pelo Autor

O tempo total de corte por puncionamento, que atualmente é de 411 horas, reduzirá para 321 horas com a implantação do processo proposto, obtendo-se redução de 90 horas.

Através do custo que a hora máquina agrega para a empresa, multiplicando pelo número de horas anual do processo, obtemos o custo total do processamento atual (corte por puncionamento) é de R\$ 190.151,92 e o custo total do processamento proposto (corte a laser) é de R\$ 131.406,36. A diferença que é de R\$ 58.745,56 e representa a lucratividade obtida com a mudança corresponde a 31% de redução nos custos totais de processamento dos 70 itens analisados, Figura 16.

Figura 16 – Diferenças entre processo atual e proposto



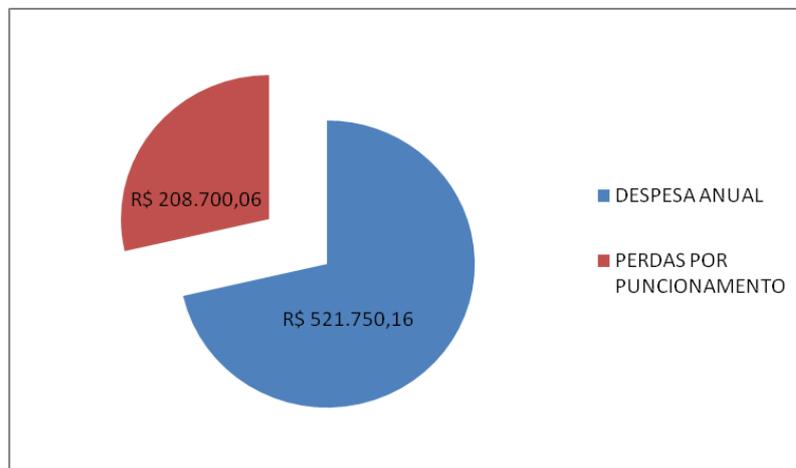
**Fonte:** Elaborado pelo Autor

Todas as indústrias que utilizam matéria prima para produção de componentes de seus produtos finais, durante o processo acabam tendo perda de parte deste material. Na indústria metalúrgica, os processamentos envolvendo matéria prima de aço carbono também apresentam perdas e a indústria contemplada pelo trabalho calcula o consumo de material de acordo com o processo de fabricação aplicado a cada peça, determinando que, para o processamento em centro de corte a laser, o desperdício de material é de 30% e para o corte em máquina puncionadeira de 40%. Sabe-se que existem situações em que este percentual varia para mais ou para menos, mas para fins de cálculos utilizou-se estes percentuais.

Considerando o consumo de material para atender a demanda anual estimado para os 70 itens em estudo, a empresa apresenta despesa anual de matéria prima que totaliza R\$ 521.750,16. O desperdício no processo de puncionamento acarreta perda de R\$ 208.700,06 que representa 40% do total e para o processo de corte a laser o valor de R\$ 156.525,05 representando 30% de desperdício. A diferença entre o processo atual e o proposto é de R\$ 52.175,01 que corresponde a um ganho de 25%. Estes valores estão expressos na seqüência pelas Figuras 17, 18 e 19 respectivamente.

A Figura 17 ilustra a perda relativa ao processo de corte por puncionamento.

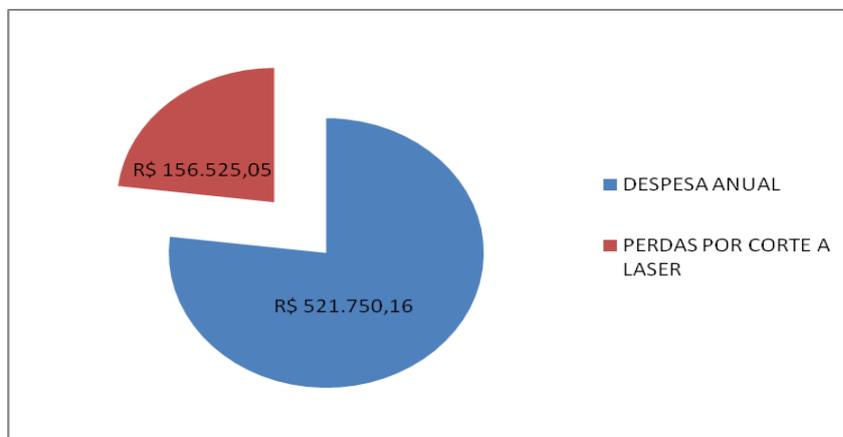
Figura 17 – Perdas no corte por puncionamento.



Fonte: Elaborado pelo Autor

A Figura 18 ilustra a perda relativa ao processo de corte a laser.

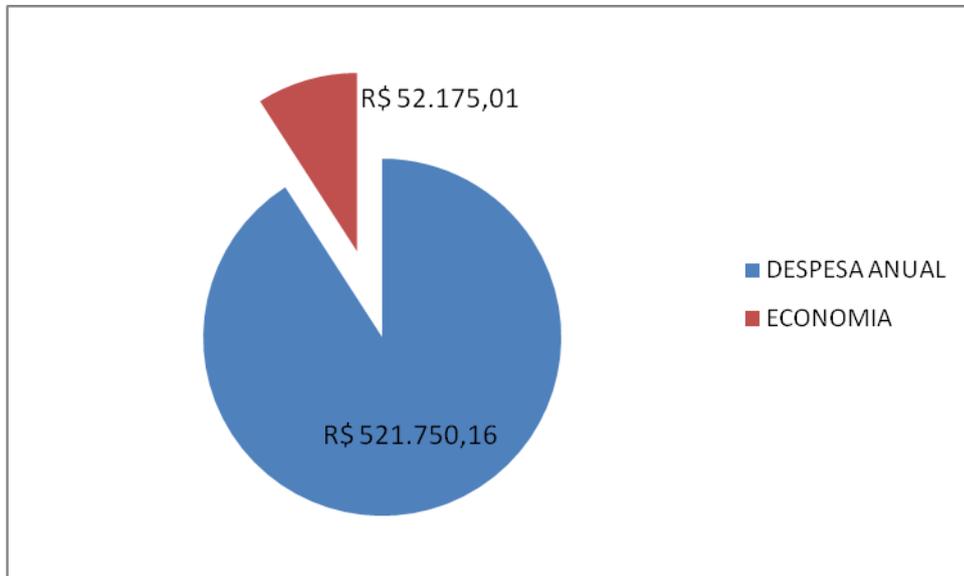
Figura 18 – Perdas no corte a laser.



Fonte: Elaborado pelo Autor

A economia obtida pela mudança de processo está representada na Figura 19 e o valor representa 25% de redução no desperdício de matéria prima.

Figura 19 – Perdas no corte a laser.



## 5 CONCLUSÕES

A revisão de literatura ampliou consideravelmente o conhecimento sobre corte de chapas metálicas por puncionamento e por raio laser. A pesquisa bibliográfica teve como foco as características de cada um dos dois processos, identificando suas vantagens e desvantagens que possibilitaram comparações entre estes métodos de fabricação.

Após a pesquisa bibliográfica, realizou-se o mapeamento dos itens processados atualmente nas máquinas puncionadeiras da empresa, ação que possibilitou a descrever as fases em que cada item passa para atender as características técnicas especificadas em desenho.

Constatou-se que 1074 itens (peças) são processadas atualmente nas puncionadeiras, peças estas de aço carbono com espessuras que variam de 0,9 a 4,75 mm, distribuídas em sete máquinas diferentes e seguindo sequenciamentos pré-estabelecidos.

Através da análise inicial que teve a elaboração do mapeamento de todos os itens que iniciam as etapas de produção nas máquinas puncionadeiras e guilhotinas, este trabalho propôs a análise de um grupo de 70 itens (peças) e os resultados obtidos foram positivos, pois obteve-se redução no tempo de fabricação, eliminação de operações, redução no desperdício de matéria prima (índice de sucata), redução dos custos de hora/máquina, redução na utilização de equipamentos de movimentação, redução do número de Blanks utilizados reduzindo a área de armazenagem de blanks e melhorando a produtividade da máquina de desbobinamento de chapas.

Analisando-se os sequenciamentos de máquinas aplicados a estes itens, concluiu-se que os mesmos são inadequados, especialmente em função da grande quantidade de operações aplicadas e as principais consequências são: necessidade de equipamentos para movimentação; necessidade de espaço para armazenamento entre operações; manuseio do mesmo item várias vezes e riscos de acidentes durante movimentações.

A proposta de melhoria prevê a troca de processo aplicado aos 70 itens analisados, migrando do corte por puncionamento para o corte a laser, pois eliminam-se assim 19 operações, passando de 89 para 70, representando redução de 90 horas máquina.

Desta forma, comprova-se que este trabalho pode ser utilizado como base para ser dado sequência de verificação aos demais itens abordados no mapeamento inicial, pois os resultados obtidos com 70 itens considerando a redução do custo da hora/máquina e o relacionado a desperdício de matéria prima ultrapassam R\$ 100.000,00. Como o mapeamento está composto de um total de 1074 itens o valor total em redução de custos para a empresa será de um valor bem mais significativo, com estimativa próxima de R\$ 700.000,00.

Considerando os objetivos gerais e específicos que eram de atender e melhorar a qualidade do produto, segurança no processo, entrega, produtividade, o trabalho justifica através de seus resultados que melhoraram os indicadores do departamento obtendo ganhos nos tempos de fabricação dos itens, as cargas máquinas foram equalizadas, reduziu os tempos de setup dos itens, em consequência, reduziu os gastos com ferramentas principalmente na questão de afiação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTAN (1998). **Otimização da precisão em furos estampados por ferramenta combinada de puncionamento e brochamento**. ANTONIO MASSAO ETO Curitiba set. 2005.

**Apoio de corte por estampagem**. Disponível em: [https://www.google.com.br/search?q=princ%C3%ADpio+de+corte+por+estampagem&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=UsfaU9zIBlrfATu\\_oCIAQ&ved=0CAYQ\\_AUoAQ&biw=1366&bih=642](https://www.google.com.br/search?q=princ%C3%ADpio+de+corte+por+estampagem&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=UsfaU9zIBlrfATu_oCIAQ&ved=0CAYQ_AUoAQ&biw=1366&bih=642) acesso em: 13 jun. 2014.

Barichello. **Publicações FAHOR**. Disponível em: [http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngPro/2013/Pro\\_Adriano.pdf](http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngPro/2013/Pro_Adriano.pdf) acesso em 04 jun. 2014.

BYSTRONIC. **Byspeed 3015 - Tecnologia de corte**. Pinhais: Bystronic LASER AG, 2007.

BYSTRONIC. **Sistemas laser**. Disponível em: <http://www.bystronic.com.br/pt/produtos/SistemasLaser/BySprint.php> acesso em 16/06/2014.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia mecânica**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

**Corte a laser**. Disponível em: <http://www.cortejatoagua.com.br/corte-laser> acesso em 06 jul.2014.

Design industrial: **Materiais e processos de fabricação**. São Paulo: Edgar blucher, 2004.

**Estampagem e Reuxamento**. Disponível em: [http://www.wilsontool.com/portuguese/ProductFamily\\_punching\\_pt\\_p\\_spcl\\_pt\\_p\\_spcl\\_trumpf\\_pt.aspx](http://www.wilsontool.com/portuguese/ProductFamily_punching_pt_p_spcl_pt_p_spcl_trumpf_pt.aspx) acesso em 04 jun. 2014

**Estampo de corte**. Disponível em: [https://www.google.com.br/search?q=estampo+de+corte&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=usjaU8b8NOLisATog4HIBw&sqi=2&ved=0CAYQ\\_AUoAQ&biw=1366&bih=642](https://www.google.com.br/search?q=estampo+de+corte&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=usjaU8b8NOLisATog4HIBw&sqi=2&ved=0CAYQ_AUoAQ&biw=1366&bih=642) acesso em 13 jul. 2014.

**Ferramentas de puncionadeira**. Disponível em: <http://www.wilsontool.com/Resources/Images/11679.pdf> acesso em 04 jun.2014.

GIL, **Projeto conceitual de um estampo de corte progressivo para chapas metálicas**. Disponível em: [http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2012/Iralcio\\_Junior\\_Bastos\\_Amori\\_m.pdf](http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2012/Iralcio_Junior_Bastos_Amori_m.pdf) acesso em 03 jun.2014.

JIM LESKO. **Design industrial: materiais e processos de fabricação**. Capítulo 5  
JOAQUIM, R.; RAMALHO, J. **Soldagem laser**. Apostila Técnica, 2010.

JUNG, Carlos Fernando. **Metodologia Para Pesquisa e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro. Axcel Books, 2004.

LAKATOS, E. M; MARCONI, M. de A. **Técnicas de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

**Máquina de corte a laser**. Disponível em: <http://www.skycortelaser.com.br/fotos-corte-a-laser/hypergear-510-25kw---champion.php> acesso em 03 jun. 2014.

MÉROZ e CUENDET. **As estampas**. São Paulo: Hemus, 1980.

MORAIS, W. A.; BORGES, H. C. **Adequações nas práticas dos novos processos de corte e dobra para otimizar o desempenho de aços planos**. Disponível em: [http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngPro/2013/Pro\\_Gerson.pdf](http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngPro/2013/Pro_Gerson.pdf) acesso em: 03 jun.2014.

NR 15 - **ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES**. Disponível em: [http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEF2FA9E54BC6/nr\\_15\\_a\\_nexo1.pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEF2FA9E54BC6/nr_15_a_nexo1.pdf) acesso em 22 ago. 2014.

OSHA - **AGÊNCIA EUROPEIA PARA A SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO**. Disponível em: [https://osha.europa.eu/pt/topics/noise/problems\\_noise\\_cause\\_html](https://osha.europa.eu/pt/topics/noise/problems_noise_cause_html) acesso em 03 set. 2014.

PROVENZA, Francesco, **Estampos I.v.1**. São Paulo: F.Provenza, 1989.

PROVENZA, Francesco, **Estampos II.v.1**. São Paulo: F.Provenza, 1989.

PROVENZA, Francesco, **Estampos III.v.1**. São Paulo: F.Provenza, 1989.

ROBERTA GOUVEIA - **O QUE É UMA PUNCIÓNADEIRA**. Disponível em: <http://www.mecanicaindustrial.com.br/conteudo/683-o-que-e-uma-puncionadeira> acesso em 05 mai. 2014.

SCHAEFFER, L., **Conformação Mecânica**, Imprensa Livre Editora , Porto Alegre,1999.

TRUMPF. **Corte, uma das principais aplicações do laser no setor metal mecânico**. Disponível em: <http://www.br.trumpf.com/pt/imprensa/assessoria-trumpf-brasil/news-trumpf-brasil-2010/corte-uma-das-principais-aplicacoes-do-laser-no-setor-metal-mecanico.html> acesso em 11 ago. 2014.

WEISS, Almiro. **Processos de fabricação mecânica**. Curitiba: Livro Técnico, 2012. 264 p.