

Paulo Samuel de Almeida

CALDEIRARIA MECÂNICA

Tecnologia e Procedimentos
do Projeto à Prática



editora
VIENA

Paulo Samuel de Almeida

Caldeiraria Mecânica

Tecnologia e Procedimentos do Projeto à Prática



editora
VIENA

1ª Edição
Bauru/SP
Editora Viena
2022

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	15
1. CONCEITOS BÁSICOS DA CALDEIRARIA MECÂNICA.....	17
1.1. Conceitos Básicos	19
1.2. Normalização Aplicada à Caldeiraria.....	21
1.2.1. Sequência para Execução do Processo de Caldeiraria.....	23
1.3. Máquinas Utilizadas em Caldeiraria.....	24
1.3.1. Calandra.....	24
1.3.2. Guilhotina.....	27
1.3.3. Dobradeira e Viradeira.....	27
1.3.3.1. Prensa Dobradeira	28
1.3.3.2. Viradeira Mecânica	28
1.3.4. Serra de Fita.....	29
1.3.4.1. Procedimento para Operação de Serra de Fita Horizontal	29
1.3.4.2. Procedimento para Operação de Serra de Fita Vertical	30
1.3.4.2.1. Precauções	30
1.3.5. Furadeiras.....	30
1.3.5.1. Furadeiras Portáteis.....	31
1.3.5.2. Furadeiras Fixas	31
1.3.5.3. Furadeira Radial	31
1.3.5.4. Recomendações para a Utilização de Furadeiras	32
1.3.6. Esmerilhadora Manual.....	32
1.3.7. Máquina para Corte com Disco Abrasivo (Policorte)	33
1.3.7.1. Características.....	33
1.3.7.2. Processo de Operação	34
1.3.8. Corte com Serra “Tico-Tico”	34
1.3.8.1. Princípio de Funcionamento.....	34
1.3.8.2. Processo de Operação para o Corte de Chapas Metálicas Finas	35
1.4. Conceitos Básicos de Segurança no Trabalho e Saúde Ocupacional em Caldeiraria	36
1.4.1. Higiene Ocupacional	36
1.4.2. Risco Ocupacional.....	36
1.4.2.1. Classificação dos Riscos	36
1.4.3. Acidente do Trabalho.....	37
1.4.4. Normas Regulamentadoras	37
1.4.5. EPI	39
1.4.5.1. Capacetes.....	39
1.4.5.2. Óculos de Proteção	40
1.4.5.3. Máscara, Perneiras e Aventais para Soldagem	40
1.4.5.4. Calçados de Segurança.....	40
2. TRAÇADO DE CALDEIRARIA	43
2.1. Conceitos Básicos e Métodos Utilizados.....	45
2.2. Desenho Técnico Mecânico	46
2.2.1. Conceitos Básicos do AutoCAD	46
2.3. Execução da Traçagem de Caldeiraria.....	48
2.3.1. Compasso Traçador	48

2.3.2.	Esquadros	48
2.3.3.	Riscadores.....	49
2.4.	Substâncias Utilizadas para Traçagem.....	49
2.4.1.	Recomendações para as Operações de Traçagem.....	50
2.5.	Punção de Bico	50
2.6.	Traçado dos Principais Elementos de Caldeiraria.....	51
2.6.1.	Cilindro com Bases Paralelas.....	51
2.6.2.	Cilindro com Bases Inclínadas (Truncado).....	52
2.6.3.	Cilindro com as Duas Bases Inclínadas	54
2.6.4.	Planificação de Curvas	54
2.6.4.1.	Curva sem Gomos	54
2.6.4.2.	Curva com Gomos	55
2.6.5.	Planificação de Cilindro para Intersecção com Diâmetros Iguais.....	55
2.6.6.	Planificação de Cilindro para Intersecção com Diâmetros Diferentes.....	56
2.6.7.	Planificação de Cone Completo.....	57
2.6.8.	Planificação de Tronco de Cone (Cone Truncado)	57
2.6.9.	Desenvolvimento de Intersecção de Três Cilindros com Base Alinhada	58
2.6.9.1.	Procedimentos para a Planificação	59
2.6.10.	Desenvolvimento de Curva Cônica.....	60
2.6.10.1.	Planificar Segmento de Curva Cônica.....	60
2.6.11.	Desenvolvimento e Traçado de Cúpula ou Meio Tampo (Semiesférico)	61
2.6.12.	Desenvolvimento e Traçado da Esfera de Gomos	62
2.6.13.	Planificação de Quadrado para Redondo Concêntrico	63
3.	OPERAÇÕES E MATERIAIS DE CALDEIRARIA	67
3.1.	Iniciando o Processo de Caldeiraria.....	69
3.2.	Custos de Fabricação em Caldeiraria.....	72
3.3.	Curvamento com Calandra de Acionamento Manual	73
3.4.	Curvamento com Calandra.....	73
3.5.	Conformação por Repuxamento	74
3.6.	Materiais Utilizados e Caldeiraria.....	75
3.7.	Minérios Utilizados para Extração do Ferro	75
3.7.1.	Tipos de Minérios de Ferro.....	75
3.8.	Produção do Ferro-gusa	77
3.9.	Aço	78
3.9.1.	Aço-carbono	79
3.9.1.1.	Nomenclatura do Aço-carbono	79
3.10.	Chapas Metálicas	80
3.10.1.	Aço Utilizado para a Fabricação de Chapas	81
3.10.1.1.	Composição Química do Aço-carbono para os Produtos Laminados Planos (Chapas de Aço)	83
3.10.2.	Normas de Fabricação de Chapas Metálicas	83
3.10.3.	Aço-liga	87
3.11.	Metais Não Ferrosos	88
3.12.	Caldeiras e Vasos de Pressão	89
3.12.1.	Vaso de Pressão	89
3.12.2.	Caldeiras.....	89
3.13.	Classificação de Segurança	91

4.	METROLOGIA E FERRAMENTAS APLICÁVEIS EM CALDEIRARIA	97
4.1.	Metro (m).....	99
4.2.	Utilização das Unidades de Medida.....	100
4.2.1.	Medidas de Volume	101
4.2.2.	Medidas de Comprimento.....	101
4.2.2.1.	Escala.....	101
4.2.2.1.1.	Leitura em Milímetros	102
4.2.2.1.2.	Leitura em Polegada Fracionária	102
4.2.2.2.	Trena	102
4.2.2.3.	Paquímetro	103
4.3.	Fórmulas.....	103
4.3.1.	Aplicação Prática do Teorema de Pitágoras.....	104
4.4.	Ferramentas e Máquinas para Corte de Chapas.....	105
4.4.1.	Tesouras Manuais	106
4.4.2.	Corte com Tesoura de Bancada	106
4.4.3.	Grampos.....	107
4.4.4.	Morsas	107
4.4.4.1.	Morsas para Bancada	107
4.4.4.2.	Morsas de Máquina	108
4.4.4.3.	Serras Manuais.....	109
4.4.5.	Limas.....	110
4.4.6.	Chave de Fenda Simples e Cruzada (Phillips).....	112
4.5.	Ferramenta para Trabalho com Elementos de Tubulações.....	112
4.5.1.	Chaves de Grifo	112
4.5.2.	Alicate Universal.....	113
4.5.3.	Chaves para Montagem e Desmontagem	113
4.5.3.1.	Chaves Fixas	114
4.5.3.1.1.	Chave Fixa de Boca.....	114
4.5.3.1.2.	Chave Fixa Estrela	114
4.5.3.1.3.	Chave Fixa Combinada.....	115
4.5.3.2.	Chaves Intercambiáveis.....	115
4.5.3.2.1.	Chave Soquete	115
4.5.3.2.2.	Chave Hexagonal Tipo Allen	116
4.5.4.	Martelos	116
4.5.4.1.	Martelo de Bola	117
4.5.4.2.	Martelo de Pena.....	117
4.5.5.	Parafusadeira Automática.....	117
4.5.6.	Exemplo	118
5.	PROCESSOS DE SOLDAGEM E CORTES APLICADOS	
	A CALDEIRARIA	123
5.1.	Processo de Soldagem a Gás – Oxiacetilênico.....	126
5.1.1.	Cilindro.....	126
5.1.1.1.	Partes do Cilindro.....	127
5.1.1.2.	Cores Padronizadas dos Cilindros (ABNT NBR 12176:2010).....	127
5.1.1.3.	Cuidados com os Cilindros.....	127
5.1.2.	Característica dos Gases Utilizados no Processo	128
5.1.2.1.	Acetileno	128
5.1.2.2.	Oxigênio.....	129
5.1.3.	Manômetros	129
5.1.4.	Tipos de Chamas Utilizadas no Processo Oxiacetilênico.....	131

5.1.5.	Procedimentos para Soldagem Oxiacetilênica.....	131
5.2.	Soldagem ao Arco Elétrico com Eletrodo Revestido	132
5.2.1.	Máquinas Utilizadas no Processo de Soldagem ao Arco Elétrico com Eletrodo Revestido	133
5.2.2.	Codificação para Eletrodos Revestidos	134
5.3.	Processo de Soldagem MIG/MAG ou GMAW	135
5.3.1.	Gases de Proteção Utilizados no Processo MIG/MAG	135
5.3.2.	Equipamentos Utilizados	136
5.3.2.1.	Fonte de Energia.....	136
5.3.2.2.	Alimentador de Arame.....	136
5.3.2.3.	Tocha de Soldagem	136
5.4.	Soldagem pelo Processo TIG.....	136
5.5.	Processo de Corte de Chapas por Oxicorte	137
5.6.	Corte a Plasma.....	139
REFERÊNCIAS		155
GLOSSÁRIO		157

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
AISI	American Iron and Steel Institute.
ANSI	American National Standards Institute.
ASME	American Society of Mechanical Engineers.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
CA	Certificado de Autenticidade.
CAM	Computer Aided Manufacturing.
CIPA	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes.
CNC	Comando Numérico Computadorizado.
DIN	Deutsches Institut für Normung.
EPI	Equipamento de Proteção Individual.
GMAW	Gas Metal Arc Welding.
ISO	International Organization for Standardization.
LIE	Limite Inferior de Explosividade.
LSE	Limite Superior de Explosividade.
MAG	Metal Active Gas.
MIG	Metal Inert Gas.
MSG	Manufacturers Standard Gauge.
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego.
Nb	Nióbio.
NBR	Norma Brasileira.
PCMSO	Programa de Controle Médico e Saúde Ocupacional.
PCP	Planejamento e Controle da Produção.
PMTA	Pressão Máxima de Trabalho Admissível.
PMTP	Pressão Máxima de Trabalho Permitida.
PPM	Partes Por Milhão.
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais.
RPM	Rotação Por Minuto.
SAE	Society of Automotive Engineers.
SESMT	Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho.
SI	Sistema Internacional.
TIG	Tungsten Inert Gas.
USG	United States Gauge.
USSG	United States Standard Gauge for Sheet.

C A P Í T U L O

1

CONCEITOS BÁSICOS DA CALDEIRARIA MECÂNICA

CONCEITOS BÁSICOS

•

NORMALIZAÇÃO APLICADA À CALDEIRARIA

•

MÁQUINAS UTILIZADAS EM CALDEIRARIA

•

CONCEITOS BÁSICOS DE SEGURANÇA NO TRABALHO
E SAÚDE OCUPACIONAL EM CALDEIRARIA



CONCEITOS BÁSICOS DA CALDEIRARIA MECÂNICA

1

CAPÍTULO

Neste capítulo, vamos estudar os conceitos básicos da caldeiraria mecânica, para que os estudantes e profissionais de caldeiraria, no exercício de suas funções, possam identificar o processo de fabricação mecânico ideal para o projeto e produção de peças, conjuntos ou estruturas mecânicas que envolvem o corte, conformação e soldagem.

O conteúdo é fundamental para iniciar os estudos nesse importante processo de fabricação que envolve entre outras operações o planejamento, traçado, construção e montagem das peças.

1.1. CONCEITOS BÁSICOS

A caldeiraria é um dos processos de fabricação mecânica que consiste no projeto e construção de estruturas metálicas, tubulações, conexões e peças feitas com chapas de aço, que serão destinadas ao transporte e armazenamento de fluidos líquidos ou gasosos, substâncias pastosas ou em grãos e também para a parte estrutural de máquinas, construções etc, seguindo normas técnicas e de segurança específicas ao processo e a área fim, da peça ou do conjunto.

O profissional de caldeiraria, o caldeireiro, é um especialista metalúrgico que projeta e constrói uma grande variedade de peças para condução e armazenamento de fluidos em diversas condições de temperatura, pressão e estado físico para diversas áreas, desde uma coifa para exaurir os vapores de cozinhas de restaurantes até grandes reservatórios de fluidos líquidos ou gasosos conhecidos como vasos de pressão, utilizados em refinarias de petróleo e gás. Além de conhecimentos técnicos, esse profissional deve ter a consciência prevencionista no assunto Segurança no Trabalho, tanto no exercício de sua função em uma caldeiraria, mas também na resistência das peças que fabrica, elas devem garantir segurança máxima em sua aplicação ou funcionalidade.

Durante o desenvolvimento de uma peça, o caldeireiro executa cálculos, elabora desenhos e planeja a sequência das operações, relacionando além do material da peça, as ferramentas, máquinas e principalmente, os procedimentos de segurança que envolvem a fabricação como um todo.

Dentre os procedimentos técnicos e operacionais do caldeireiro, podemos citar os seguintes:

- » **Calcular e desenhar:** Se trata da execução de desenho técnico mecânico considerando cálculos de resistência, dimensionamento etc. da peça que será construída.
- » **Ajuste mecânico:** É o trabalho com ferramentas manuais (limas, furadeiras de acionamento manual etc.).
- » **Cortar:** Se trata do corte de chapas com serras manuais e/ou automáticas.
- » **Calandrar:** Consiste na curvatura de chapas utilizando uma máquina denominada “calandra” que pode ter acionamento manual ou com motor elétrico.
- » **Soldar:** São utilizados processos de soldagem ao arco elétrico ou oxiacetilênica (utilizando maçarico).

Para a execução de uma peça pelo processo de caldeiraria, é necessário a execução das seguintes fases:

- » **Projeto:** Envolve a elaboração da peça com as medidas e geometria de modo a atender as normas de segurança, técnicas e a resistência necessária para sua correta utilização com base em cálculos dimensionais que garantem a resistência da peça. Nesta fase também, se determina a quantidade de matéria-prima, ferramentas, máquinas e insumos necessários para a execução da peça ou do lote de peças que deve ser produzido.
- » **Processo de fabricação:** Determina as fases de fabricação utilizando as máquinas e os setores envolvidos na fabricação, considerando também, a quantidade de mão de obra necessária para a fabricação das peças.
- » **Fabricação:** É a parte prática da caldeiraria, ou seja, nessa fase o caldeireiro aplica seus conhecimentos e habilidades para executar o que foi projetado e planejado para a execução das peças.
- » **Qualidade:** Garante que a peça fabricada seja acompanhada durante o processo de fabricação e inspecionada de modo que o cliente receba a peça ou o lote de peças conforme projetado.



Reservatórios e elementos de tubulação em uma refinaria.

O caldeireiro é um profissional que fabrica peças a partir de chapas de material metálico ferroso ou não ferroso, curvadas ou dobradas e seu fechamento normalmente é dado por processo de soldagem adequado de acordo com o material que está sendo utilizado. Essas características fazem do caldeireiro um profissional polivalente, com competências profissionais nas áreas de: segurança no trabalho, higiene, saúde e meio ambiente; preparação e operação de máquinas para corte e conformação metálica; projeto de peças e conjuntos; processos básicos de soldagem ao arco elétrico com eletrodo revestido, TIG (*Tungstein Inert Gas*), MIG (*Metal Inert Gas*), ou MAG (*Metal Active Gas*), além do processo oxiacetileno que utiliza a queima de gases para gerar o calor para a soldagem.

Esse conjunto de conhecimentos e habilidades é utilizado pelo caldeireiro para a fabricação de peças e estruturas metálicas para tubulações de vários tipos, estruturas de máquinas e a área de petróleo e gás, na construção de tubulações para o transporte do petróleo cru e para o refino onde são necessários vasos de pressão, curvas, juntas etc.

O processo de fabricação na caldeiraria mecânica é extremamente vasto e o profissional de caldeiraria deve conhecer as características da atividade em que vai atuar fabricando peças e conjuntos, para saber corretamente quais as normas técnicas aplicáveis e, em especial, as normas de segurança necessárias para a fabricação das peças.



Reservatórios de combustível construído com chapas de aço.

1.2. NORMALIZAÇÃO APLICADA À CALDEIRARIA

Para a padronização de procedimentos das mais variadas atividades, foram elaboradas normas técnicas com procedimentos técnicos e de segurança obrigatórios, ou seja, regras que devem ser seguidas para a execução de uma determinada tarefa.

As normas podem ser relacionadas à:

- » **Segurança:** Conhecidas como Normas Regulamentadoras (NR) e são criadas e gerenciadas no Brasil, pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE).
- » **Técnica:** Conhecidas como Normas Brasileiras (NBR) que são aprovadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).



Conexão tipo "T" feita pelo caldeireiro.

No decorrer do tempo, muitas atividades de caldeiraria foram sendo melhoradas e, em alguns casos, ocorreram alguns acidentes. Esses fatos serviram para a criação de procedimentos que garantem a segurança dos profissionais de caldeiraria e fornecem maior precisão e otimização dos serviços realizados.

Com base nesse histórico, garantindo a segurança dos trabalhadores e as exigências dimensionais e geométricas do trabalho a ser executado, a seguir é citada como exemplo a norma **ABNT NBR 15153:2005: (*Qualificação e Certificação de Caldeireiro de Manutenção – Requisitos*)** que apresenta procedimentos básicos para o caldeireiro de manutenção e montador (**ABNT NBR 15151 – *Qualificação e certificação de caldeireiro montador – Requisitos***):

- Obedecer normas que visam proteger o caldeireiro de acidentes do trabalho e evitar agressão ao meio ambiente;
- Aplicar os conhecimentos técnicos de planificação, desenho, cálculos aplicáveis à execução de serviços de caldeiraria em peças, equipamentos, estruturas metálicas e tubulações para diversas aplicações;
- Executar conformação de chapas metálicas pelo método a frio ou a quente;
- Planificar peças;
- Preparar e operar corretamente máquinas e equipamentos de caldeiraria;
- Reconhecer a matéria prima ideal para a fabricação de peças de caldeiraria;

- Efetuar a traçagem correta de furos, dobras curvas etc;
- Utilizar corretamente ferramentas para operações de caldeiraria;
- Executar ponteamto e cordão de soldagem. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

A serralheria e funilaria industrial utiliza conceitos da caldeiraria mecânica especialmente no que se refere para estruturas de aço, soldagem e conformação de peças para os conjuntos mecânicos. São profissões destinadas à áreas distintas.

1.2.1. SEQUÊNCIA PARA EXECUÇÃO DO PROCESSO DE CALDEIRARIA

Para fabricar peças com qualidade, garantir uma montagem perfeita do conjunto, evitar problemas na montagem e ajustes com esmerilhadeiras manuais ou limas (retrabalho), o caldeireiro deve cumprir, desde a fase do projeto, um procedimento de trabalho que tenha operações específicas para cada aplicação. De uma maneira genérica, a seguir são apresentados os passos para a execução do processo de caldeiraria:

1. Verifique a aplicabilidade da peça como, por exemplo, o tipo de fluido, a pressão e temperatura e, com essas informações, verifique as características construtivas da peça considerando o material, a espessura da chapa, o tipo de solda etc;
2. Desenvolva o desenho da peça seguindo as normas e padrões do desenho técnico mecânico, com as devidas especificações dimensionais e geométricas com suas devidas tolerâncias;
3. Execute a planificação da peça para possibilitar o traçado dela na chapa que será utilizada para a fabricação;
4. Selecione as ferramentas, as máquinas e os insumos necessários para a fabricação da peça;
5. Execute a traçagem do desenho planificado da peça na chapa, para garantir que o traço não seja apagado pela perda da tinta utilizada para destacar a traçagem e facilitar a visualização nas operações de corte e conformação;

Observação: O assunto “Traçado de Caldeiraria” será estudado no Capítulo 2.

6. Corte a peça utilizando máquinas específicas (serra de fita, tico-tico, abrasiva etc.);
7. Retire possíveis rebarbas resultantes do processo de corte, utilizando uma lima ou esmerilhadora;
8. Calandre a parte curvada (se houver) conferindo com instrumentos de medição ou comparação (gabarito);
9. Ponteie a emenda da peça com o processo de soldagem que for mais adequado ao material e a espessura da peça, e faça a conferência novamente;
10. Após a conferência da peça conforme o desenho, execute a solda da emenda completa.

1.3. MÁQUINAS UTILIZADAS EM CALDEIRARIA

Algumas operações de caldeiraria exigem que a chapa de metal que será trabalhada passe por processos de corte e conformação mecânica. Alguns tipos de corte exigem uma trajetória precisa, isso é, que não necessita de acabamento posterior. O mesmo ocorre com a dobra ou a curvatura da chapa, contudo, não é possível fazer essas operações com ferramentas manuais. Para atender essas necessidades, são utilizadas máquinas específicas que permitem ao caldeireiro realizar suas atividades com precisão, rapidez e segurança. A seguir serão apresentadas as principais máquinas utilizadas em caldeiraria.

Devido a grande variedade de operações que envolvem a fabricação de peças no processo de caldeiraria, as máquinas estão divididas em grupos em função de seu princípio de funcionamento:

- » **Máquinas de corte:** Por cisalhamento (guilhotinas), por usinagem (serras).
- » **Conformação de metais:** Calandra, dobradeira, viradeira, Roda Inglesa.
- » **Abrasão:** Esmerilhadeira portátil e de coluna, lixadeira, corte a disco abrasivo (policorte).
- » **Usinagem de metais:** Serras de fita e circular, furadeiras, lima etc.
- » **Soldagem de metais:** Máquinas para soldar o fechamento das peças.

1.3.1. CALANDRA

A Calandra é uma máquina destinada a conformação de chapas de metal produzindo superfícies curvas. É utilizada para a fabricação de peças curvadas, cilíndricas ou parcialmente curvadas. Existem calandras destinadas a curvar chapas, tubos e perfis de diversos tipos como por exemplo perfil “L”, “T”, “I” etc. Nesses casos, a calandra vai possuir características construtivas específicas para cada tipo de perfil.



Calandra com acionamento hidráulico.

A calandra destinada à conformação de chapas planas para peças cilíndricas ou cônicas possui três rolos, sendo que os dois inferiores transmitem a força de trabalho para o movimento circular e, o terceiro rolo, superior, é livre, e serve para apoiar e guiar a chapa durante o movimento que gera a conformação da trajetória

circular. Para regular o raio da curva que será feita, movimentam-se os rolos para que a distância entre eles, gere a medida de raio desejada.

O movimento circular dos rolos de uma calandra pode ser manual nas máquinas de pequeno porte (pois produzem pouca quantidade de peças com chapas de espessura de 0,3 mm a 2,5 mm), com motor elétrico ou com cilindros hidráulicos, indicados para as calandras de grande porte.

Para facilitar a curvatura da chapa, ela deve ser posicionada na calandra no sentido de sua laminação. A curvatura das chapas é obtida pela passagem entre os rolos que são acionados em movimentos intermitentes para frente e para trás até que seja completado o ciclo de calandragem.

Para iniciar a calandragem, deve-se fazer manualmente, com processo de martelagem, um raio inicial na chapa com medida de 1/10 do comprimento total da chapa, esse processo vai facilitar o início da operação.

Calandras destinadas a curvar chapas com espessura superior a 10 mm, possuem recurso hidráulico para fazer o pré-curvamento.

Essa operação pode ser feita a frio, abaixo da temperatura de recristalização, no caso do aço carbono é aproximadamente 540 °C, e a quente, com temperatura superior a 540 °C. No caso da calandragem a frio, se a peça for utilizada para a fabricação de vasos de pressão, é necessária a eliminação de tensões residuais por meio de um tipo de tratamento térmico denominado “normalização”. Nesse caso específico de peças para vasos de pressão, utiliza-se como referência, o código **ASME, seção VIII, divisão 1, parágrafos UCS-79, UHT-79 e ULT-79**, que informa a exigência do alívio de tensões após a conformação a frio para aços carbono e de baixa liga, sempre que o estiramento da fibra mais estendida do material exceder a 5%, em combinação com as condições de:

- » Vasos de pressão destinados para produtos tóxicos.
- » Materiais para vasos de pressão que exijam teste de impacto.
- » Chapas com espessura superior a 16 mm.
- » Quando a conformação da chapa resultar em uma redução de cerca de 10% da espessura.



Vaso de pressão sendo construído em uma caldeiraria.

Para aços carbono e de baixa liga, ou seja, aços com baixas quantidades de elementos de liga (geralmente Nióbio – Nb, Titânio – Ti e/ou Vanádio – V mas que possuem altos limites de resistência ao estiramento e, portanto, são indicados para as operações de conformação mecânica, é necessário o tratamento térmico para alívio de tensões quando o estiramento máximo ultrapassar a 5%, para qualquer tipo de conformação feita em temperatura inferior à do revenimento do material.

Para calcular o estiramento máximo do material é necessário utilizar os seguintes parâmetros: espessura inicial da chapa a ser calandrada (e), raio final na linha de centro (R_f) e raio inicial na linha de centro (R_0).

- » Para curvatura simples de cilindros e cones utiliza-se a fórmula:

$$\text{Porcentagem de estiramento} = \frac{75e}{R_f} \left[1 - \frac{R_f}{R_0} \right]$$

- » Para curvatura dupla de esferas e tampos a fórmula é a seguinte:

$$\text{Porcentagem de estiramento} = \frac{50e}{R_f} \left[1 - \frac{R_f}{R_0} \right]$$

Em que:

- » **e**: Espessura inicial da chapa.
- » **R_f**: Raio final na linha de centro.
- » **R₀**: Raio inicial na linha de centro (é infinito para chapas planas).

As calandras devem estar de acordo com a Norma Regulamentadora 12 (NR12) – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos, disponível junto ao Ministério do Trabalho e Emprego (MTE).



Calandra de grande porte.

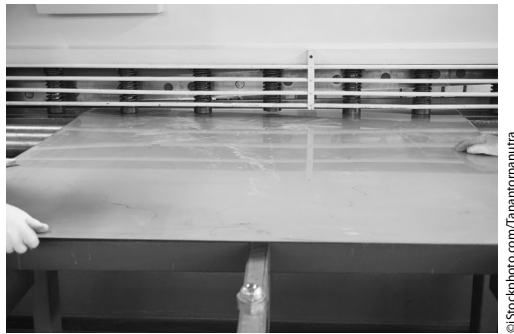
Calandra para barras e tubos perfilados possuem ferramentas especiais com o perfil que será curvado, o que confere à peça curvada precisão e qualidade no serviço.



Detalhe de uma calandra curvando um perfil de aço quadrado.

1.3.2. GUILHOTINA

A fabricação de peças pelo processo de caldeiraria envolve operações de corte. Ao iniciar a fabricação, o caldeireiro normalmente precisa segmentar a chapa para a retirada de um pedaço que será utilizado para a fabricação da peça. Para possibilitar o corte total ou parcial de chapas para a construção de peças por planificação de elementos de tubulação por exemplo, utiliza-se máquinas que podem ser acionadas manualmente por meio de alavancas, com acionamento mecânico por meio de um eixo excêntrico ou com acionamento hidráulico o que confere maior capacidade de corte. As guilhotinas podem ser fabricadas com lâminas de comprimento na faixa de 1 a 6 metros e sua capacidade de corte chega a 25 mm de espessura, dependendo de seu porte e características construtivas.



Guilhotina hidráulica sendo utilizada para cortar uma chapa.

1.3.3. DOBRADEIRA E VIRADEIRA

Muitas peças fabricadas pelo caldeireiro, possuem partes dobradas, muitos encaixes de carcaças de máquinas, caixas de força de máquinas, elementos de tubulação etc., são feitos com partes dobradas. Dependendo da geometria da dobra, é necessário que o movimento seja linear ou angular.

Para a fabricação desse tipo de peça permitindo todo tipo de dobra, existem dois tipos de máquina de dobra que serão descritas nos próximos tópicos.

1.3.3.1. PRENSA DOBRADEIRA

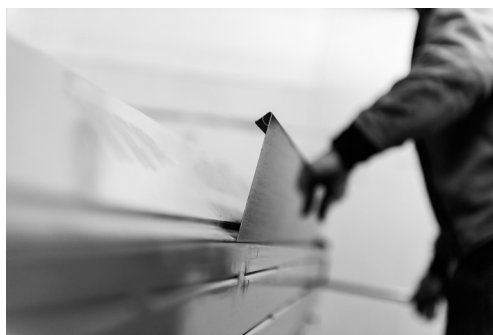
Executa a dobra com movimento linear vertical em relação ao operador com a punção, que é uma ferramenta de aço tratado termicamente, que penetra na peça que está sendo dobrada, e dobra a chapa de aço na matriz, que é a peça de aço tratado termicamente que tem a cavidade para dar forma a dobra. Este tipo de dobra permite a fabricação de peças com detalhes mais precisos. A prensa dobradeira possui acionamento hidráulico, ou seja, por meio de cilindros que utilizam a compressão de óleo para se movimentar, o que gera uma grande força para a dobra. Essa característica permite dobrar chapas de espessuras bem maiores em relação a capacidade de dobra da viradeira. Outra vantagem da dobradeira é a capacidade de produzir grandes lotes de peças em produção seriada.



Prensa dobradeira hidráulica.

1.3.3.2. VIRADEIRA MECÂNICA

A viradeira mecânica é utilizada para execução de dobras, o movimento da máquina para efetuar a dobra é feito de maneira angular em relação ao mordente superior, com a força de dobra sendo aplicada pelo operador que deve controlar também o ângulo por meio de uma graduação localizada no manípulo que realiza o movimento de dobra, é indicada para dobra de chapas de pequena espessura. Esse fato faz com que a viradeira seja indicada para pequenas quantidades de peças e geometria com pouca complexidade.



Viradeira manual.

Por apresentar poucos recursos e menor força para a dobra, a viradeira tem um custo bem menor se comparado com a prensa dobradeira.

1.3.4. SERRA DE FITA

Para as operações de corte em caldeiraria, são utilizadas máquinas específicas denominadas serras. As serras automáticas são dotadas de uma lâmina de serra dentada e flexível, conhecida pelo nome de serra de fita. Ela é destinada a cortar materiais metálicos ou não metálicos e possui aplicação na área alimentícia e na área metal mecânica em geral, na caldeiraria é utilizada para o corte de chapas traçadas e peças de perfis diversos, de acordo com o dimensionamento da máquina. O corte nessa máquina pode acontecer de duas formas:

- » **Horizontal:** O corte é realizado com a serra de fita na posição horizontal, possui aplicação para corte de barras de diversos perfis.
- » **Vertical:** A serra de fita realiza o corte do material na posição vertical, permite a mudança de direção moderada do sentido de corte, porém, sem muita precisão.

O princípio de funcionamento das serras de fita horizontal e vertical baseia-se na serra de fita (lâmina flexível) que é acoplada em dois volantes que giram e fazem com que a serra passe a uma velocidade controlada, pela morsa na serra horizontal e mesa da serra vertical efetuando o corte do material.

1.3.4.1. PROCEDIMENTO PARA OPERAÇÃO DE SERRA DE FITA HORIZONTAL

Para operar a serra de fita horizontal é necessário ler o manual da máquina para verificar os comandos que podem variar em função do fabricante, além disso seguir alguns procedimentos padrão:

1. Primeiro, utilize óculos de proteção, sapato de segurança e protetor auricular, além da vestimenta adequada ao trabalho em oficina ou indústria;
2. Trace no material que será cortado a medida onde ocorrerá o corte, descontando o material necessário para acabamento posterior se houver;
3. Fixe o material na morsa apertando-o com firmeza;
4. Posicione a serra deixando-a aproximadamente 20 milímetros afastada da peça;
5. Ligue a máquina e regule o avanço de corte.

A máquina vai cortar a peça e vai desligar automaticamente desde que esteja em boas condições de manutenção elétrica e mecânica, conforme as especificações do fabricante.

Precaução de segurança: Não utilize luvas durante a operação de corte para evitar pontos de agarramento que causam acidentes de trabalho.



Serra de fita horizontal.

Para a operação segura da serra de fita vertical, assim como na serra horizontal, deve-se ler o manual da máquina para verificar os comandos que podem variar em função do fabricante.

1.3.4.2. PROCEDIMENTO PARA OPERAÇÃO DE SERRA DE FITA VERTICAL

Para proceder com a operação da serra de fita vertical, siga os passos:

1. Utilize óculos de proteção, calçado de segurança e protetor auricular;
2. Trace o perfil que será cortado;
3. Efetue o avanço de corte com um suporte especial apoiado na peça para evitar acidentes.

1.3.4.2.1. PRECAUÇÕES

Tome como precaução os seguintes pontos:

- » Nunca segure a peça que será cortada com as mãos, utilize sempre o suporte específico para essa finalidade.
- » Nunca utilize luvas durante a operação de corte para evitar pontos de agarramento.

1.3.5. FURADEIRAS

Em algumas operações de caldeiraria é necessário executar furos para diversas finalidades, entre as quais podemos citar, rebaixos, furos para rosca, chanfros com escareador etc. Usinar furos em materiais metálicos ou não metálicos na caldeiraria é muito comum, especialmente em chapas de aço. A força de trabalho do motor elétrico da furadeira é transmitida por meio de polias com correias ou engrenagens e, nas furadeiras manuais, esse movimento é feito diretamente do eixo do motor para o mandril da furadeira. Para atender os diversos tipos de aplicações, as furadeiras possuem características construtivas específicas e, a seguir, serão apresentados os tipos de furadeiras.