

## APLICAÇÃO DO MAP NO DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DE CALANDRA DIDÁTICA PELOS DISCENTES DO CURSO TÉCNICO EM MECÂNICA

**Resumo:** *Novas práticas pedagógicas integrativas são necessárias para propiciar um ambiente de ensino no qual o discente torna-se o agente de seu conhecimento. Tendo em vista que o processo de ensino-aprendizagem é dinâmico, o uso de metodologias que desenvolvam e instiguem os discentes por meio de desafios propostos é uma forma de aprimorar capacidades e experiências para além da sala de aula. Com este propósito, este trabalho tem como objetivo apresentar as fases do processo de fabricação de uma calandra didática manual usando o MAP e estudo do raio de curvatura obtido em uma barra de aço carbono 1020 de 2,5 mm de espessura, 420,0 mm de comprimento e 55,2 mm de largura e uma chapa de alumínio comercial de 1,5 mm de espessura, 600,0 mm de comprimento e 50,2 mm de largura. A calandra é um dispositivo mecânico capaz de realizar o curvamento de chapas e perfis, proporcionando raios de até 360 graus úteis e, neste caso, com uso de força manual para fabricação de estruturas. O Modelo de Aula Prática – MAP, é baseado em cinco etapas que permite a compreensão significativa das habilidades e competências dos discentes na construção de aparatos experimentais ou protótipos. A calandra manual didática desenvolvida foi baseada no tipo piramidal com três rolos suportada por estrutura de aço carbono 1020 de espessura de 15 mm, dois rolos ajustáveis com diâmetros de 60,5 mm e o rolo central para aplicação de força com diâmetro de 30 mm. Conforme demonstrou os resultados dos ensaios, obteve-se os raios de curvatura de acordo com o material ensaiado e a proposta do equipamento.*

**Palavras-chave:** *Calandra didática. Processo de fabricação. Conformação metálica.*

### 1 INTRODUÇÃO

O mundo contemporâneo, passa por uma série de transformações sociais e econômicas, dadas sobretudo pelos avanços tecnológicos, que modificam as relações sociais nas diversas possibilidades criadas em todas as áreas do conhecimento.

Mais precisamente no decorrer das últimas duas décadas, ocorreram consideráveis avanços em diversos setores e várias áreas do conhecimento, consequente aos efeitos da globalização como um dos percussores das alterações comportamentais no universo da educação. Neste período, a educação no Brasil norteia-se por vertentes de melhorais como o acesso a qualidade do ensino, infraestrutura, tecnologias, gestão escolar, inclusão entre outros.

Nas vertentes de qualidade de ensino e tecnologia as abordagens para o aprendizado discente originaram estratégias como as aulas práticas para contemplar o equilíbrio dos conhecimentos adquiridos na teoria em sala de aula confrontando com a atividade prática.

Esse diapasão, as aulas práticas são de vital importância para os discentes, pois permitem questionarem a teoria e tirem as suas próprias conclusões tendo como resultado o que se espera do ensino/aprendizagem.

Nos trabalhos apresentados no RIMEPES (2015), um dos pontos apresentados é a falta de aulas práticas em laboratórios para despertar o aprendizado com os conhecimentos adquiridos.

A ausência de métodos sistematizados para aulas práticas é um fator crítico, visto que é de suma importância os docentes disporem de instrumentos e modelos de aparatos técnicos para auxiliarem os discentes a discutirem e aplicarem o que foi estudado e aprendido em um trabalho prático.

Desta forma, como proposta de aula prática, destaca-se o Modelo de Aula Prática – MAP, desenvolvido por Carmo (2018) para auxiliar o discente na construção prática de aparatos como parte integrante no desenvolvimento e habilidades exigidas entre a teoria e prática.

O objetivo deste trabalho é aplicar as fases do MAP no desenvolvimento de uma calandra didática manual e o estudo do raio de curvatura obtido com o instrumento ao ensaiar uma barra de aço carbono 1020 com dimensões de 2,5 mm de espessura, 55,2 mm de largura e 420,0 mm de comprimento e uma chapa de alumínio comercial de 1,5 mm de espessura, 50,2 mm de largura e 600,0 mm de comprimento.

## **2 DESENVOLVIMENTO PARA O TRABALHO**

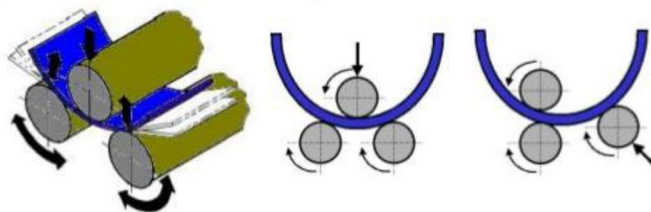
A calandra foi desenvolvida como método de avaliação da disciplina integrativa do curso técnico em mecânica do Instituto Federal Catarinense, campus Blumenau.

### **2.1 Calandra**

A calandra é uma máquina para conformação mecânica a frio de materiais metálicos como chapas, tubos e perfis que são deformados plasticamente em seções curvas com uso de rolos para obtenção do raio de curvatura desejado. O dispositivo oferece a produção de peças curvas para fabricação de máquinas ou equipamentos como tanques, caldeiras, colunas, tubulações para transporte de líquidos ou gases entre outros (GROOVER, 2016).

A construção das calandras normalmente são de 3 ou 4 rolos cilíndricos. As de 3 rolos cilíndricos são as mais usadas na indústria tendo como formação de uma pirâmide chamada de calandra piramidal como mostra a Figura 1.

Figura 1. Esquemática da disposição de uma calandra com 3 rolos.



Fonte: Palmeira, 2005.

Os elementos da calandra são um conjunto de rolos cilíndricos com movimento giratório e pressão ajustável dispostos em uma base com suportes de sustentação. A calandragem das peças se dá inserindo o material a ser curvado entre os rolos, sendo que para uma calandra de 3 rolos o rolo superior é direcionado de modo perpendicular à chapa e os rolos inferiores com movimento rotacional, porém fixados no plano horizontal até a obtenção das curvas conforme as dimensões determinadas, formando arcos ou lombadas, curvamento total ou virola. Vale ressaltar que o acionamento pode ser realizado de modo manual, elétrico, hidráulico ou automático (POLL, 2008).

A conformação mecânica segundo Helman e Cetlin (2005) é uma operação onde se aplicam solicitações mecânicas em metais, que respondem com uma mudança permanente de dimensões e como resultado também a alteração das propriedades do metal, em relação àquelas anteriores.

Segundo Norton (2011), a conformação mecânica pode ser realizada em superfície de revolução como eixos, em superfícies planas que possam ser passadas entres roletes e em interiores de furos.

A conformação mecânica pelo método da calandragem é classificada como uma conformação pelo esforço de flexão, ou seja, ocorre devido a aplicação de um momento fletor (BRESCIANI FILHO, 1991).

No estudo de conformação ou deformação de algum material a necessidade de entender e conhecer a passagem da deformação elástica, reversível, para a plástica, permanente, ao ultrapassar a tensão de escoamento aplicada ao material. Trata-se de um processo que se dá devido ao escorregamento dos planos e direções cristalográficas dos cristais provocado pela movimentação das discordâncias e suas interações (BRESCIANI FILHO, 1991).

Para Palmeira (2005) a maioria dos materiais dúcteis, tanto a extensão da deformação como a mudança na forma do corpo podem continuar até um grau elevado antes do rompimento, caso não ocorra descarregamento. Em um processo de deformação a frio, pode ocorrer a fratura do material devido a perda da ductibilidade graças ao encruamento e a uma excessiva aplicação de tensão.

A deformação na zona elástica é dada pela Lei de Hooke, Equação (1), que estão relacionadas com a deformação elástica e o alongamento elástico. Quando o corpo metálico ultrapassa a tensão de escoamento, um nível particular de tensão para cada material, o corpo metálico inicia a deformação plástica, conforme a Equação (2).

$$\sigma = \epsilon E \quad (1)$$

$$\sigma = k\epsilon^n \quad (2)$$

Em que  $\sigma$  é a tensão aplicada,  $\epsilon$  a deformação correspondente,  $E$  o módulo de elasticidade,  $k$  o coeficiente de resistência e  $n$  o coeficiente de encruamento. Sendo  $E$ ,  $k$  e  $n$  constantes características dos materiais em dadas condições.

Ao analisar o caso específico das calandras, a deformação máxima por passe pode ser mensurada por meio da Equação (3).

$$\epsilon = \frac{t}{2R_e} \left( 1 - \frac{R_e}{R_0} \right) \quad (3)$$

Em que  $R_0$  corresponde ao raio de curvatura inicial da chapa,  $R_e$  o raio de curvatura final e  $t$  a espessura da chapa.

Segundo a norma ASTM E290 (2014) alguns parâmetros devem ser respeitados em uma calandra, dentre elas a distância entre rolos para efetivar a conformação. A Figura 2 representa uma calandra de 3 rolos e indicações de medidas.

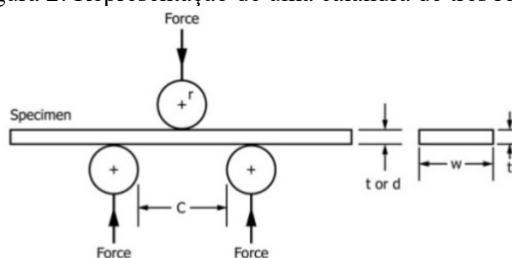
Para executar a deformação, deve-se respeitar Equação (4), em que há consideração de parâmetros do equipamento para escolha da peça a ser calandrada.

$$C = 2r + 3t \pm \frac{t}{2} \quad (4)$$

Em que  $C$  é a distância entre os suportes inferiores do equipamento,  $r$  o raio do rolo superior,  $t$  a espessura da chapa ou  $d$  quando for diâmetro do material,  $w$  a largura do material.



Figura 2: Representação de uma calandra de três rolos.

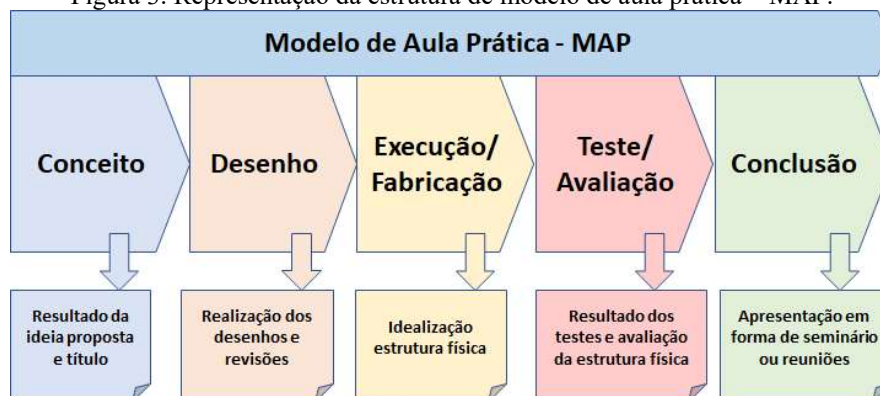


Fonte: ASTM E290 (2014).

## 2.2 Modelo de Aula Prática – MAP

A estrutura do modelo para aula prática – MAP, baseada em cinco etapas, objetiva auxiliar os docentes no desenvolvimento de aulas práticas. Para alcançar a última etapa, conclusão, é necessário seguir e respeitar a sequência lógica e especificidades de cada parte do modelo, conforme demonstrado na Figura 3.

Figura 3. Representação da estrutura de modelo de aula prática – MAP.



Fonte: Carmo, 2018

Para a aplicação do MAP é necessário a execução das cinco etapas e seus desdobramentos específicos de análise, ou seja, a complexidade do tema proposto como aula prática, visto que são as etapas que compõem a estrutura do MAP.

Na etapa conceito ocorre a definição da proposta do trabalho prático e geração de ideias. Nesta etapa é que acontecem as reuniões da equipe para o desenvolvimento da proposta sugerida, como por exemplo, buscar estabelecer a estrutura funcional e identificar as variações que influenciam na concepção e são levantadas informações, possibilidades técnicas, requisitos de fabricação, cronograma das atividades e discussão de temas transversais. Como resultado desta etapa, tem-se o esboço, fotografias e título da sugestão do trabalho.

A etapa desenho se destina a estabelecer os croquis e desenhos em suas revisões, identificar as especificações do trabalho como dimensões, forma, posição de montagens, materiais a serem utilizados. Como resultado desta etapa, tem-se os registros dos desenhos na forma de croquis e desenhos desenvolvidos pela ferramenta computacional Desenho Assistido por Computador (CAD), processos de fabricação e maquinários que serão utilizados para a etapa de execução/fabricação e registro dos produtos ou insumos utilizados.

A etapa de execução/fabricação é destinada ao local onde acontece a preparação e produção da proposta sugerida após a conclusão das etapas de conceito e desenho. Nesta etapa, diversas atividades serão realizadas simultaneamente como a preparação e construção de ferramental, preparação e utilização dos maquinários para os processos de fabricação, montagens e testes iniciais de montagens para verificar as não-conformidades dos processos de fabricação. Como

resultado desta etapa, tem-se o registro em forma de fotografias dos processos utilizados e a proposta do trabalho na forma de estrutura física.

Na etapa teste/avaliação é analisada, verificada e comparada por meio dos resultados obtidos no ensaio e pelo aparato ou protótipo fabricado, com os resultados de referência dados pela literatura pertinente. Nesta etapa devem ser realizados quantos testes de avaliação forem necessários e, em paralelo, as alterações da estrutura física, sendo o feedback de alterações e revisões nas etapas do desenho e execução/fabricação, testes de laboratórios e de campo. O resultado desta etapa corresponde a análise integrada da estrutura física, os resultados dos ensaios e testes, registro por fotografias, conclusão dos desenhos como última revisão.


Na etapa conclusão está a consolidação das etapas conceito, desenho, execução/fabricação e do teste/avaliação. Nesta etapa é que se tem o momento da apresentação do trabalho prático proposto como seminário ou reuniões.

### 2.3 Aplicação do MAP

De acordo com a proposta de modelo de aula prática apresentado na Figura 2, iniciou-se as atividades de construção do protótipo da calandra didática. A sistematização das etapas e aplicação da proposta de modelo de aula prática, assim como os conhecimentos adquiridos dos componentes curriculares estudados no curso, foram elaborados processos e registros que serão apresentados nos quadros a seguir.

No Quadro 1 se apresenta o desenvolvimento da etapa conceito da proposta de modelo de aula prática.

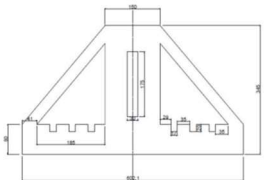
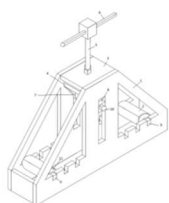
Quadro 1. Etapa Conceito da proposta de modelo de aula prática

Etapa Conceito	
Atividades realizadas	Pesquisa na literatura pertinente: livros, artigos técnicos e internet. Identificação dos tipos de calandras. Uso de método de brainstorming. Geração e ideia do conceito do trabalho prático. Cronograma das atividades.
Resultado	Título do Trabalho: Calandra didática. Conceito e ideia da do trabalho prático. Relatório parcial da ideia do aparato experimental.
 <p>Esquematizando o conceito da proposta</p>	

O Quadro 2 apresenta o desenvolvimento da etapa desenho da proposta de modelo de aula prática.





Quadro 2. Etapa Desenho da proposta de modelo de aula prática

Etapa Desenho	
Atividades realizadas	Estabelecimento dos croquis, desenhos e revisões. Identificação das especificações do trabalho proposto como: dimensões, forma, materiais a serem utilizados, especificação dos componentes, alterações e revisões necessárias dos documentos. Geração e ideia do conceito do trabalho prático.

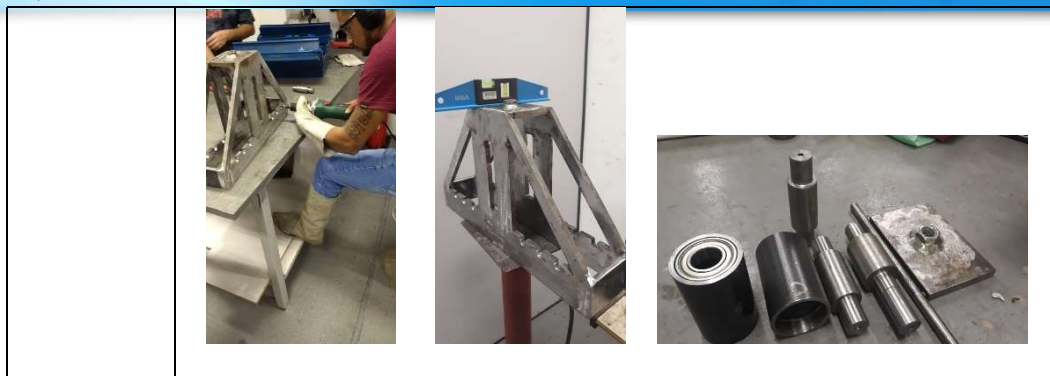
Resultado	<p>Definição da programação inicial de equipamentos, ferramentas, processos de fabricação e maquinários que serão utilizados para a etapa de execução/fabricação do aparato experimental para ensaio de viscosidade de óleo lubrificante. Relatório parcial e fichas técnicas dos produtos e insumos. Registros dos desenhos desenvolvido em forma de croquis. Registros dos desenhos desenvolvidos por computador usando a ferramenta CAD</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>Base frontal Calandra</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Desenho isométrico</p> </div> </div>
-----------	--

No Quadro 3 se apresenta o desenvolvimento da etapa desenho da proposta de modelo de aula prática.

Quadro 3. Etapa Execução/Fabricação da proposta de modelo de aula prática


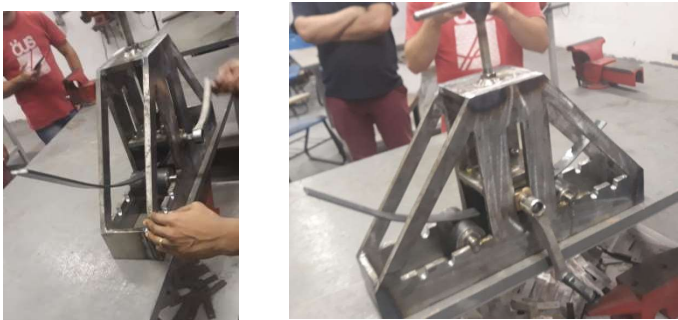
Etapa Execução/ Fabricação	
Atividades realizadas	Preparação dos maquinários e ferramentas para a produção da calandra didática. Montagens das peças e fixações. Teste iniciais e verificação ou não das conformidades. Revisão e alteração dos desenhos e croquis da etapa desenho
Resultado	<p>- Relatório parcial dos processos utilizados. Proposta do trabalho na forma de estrutura física e testes iniciais. Registro dos processos de fabricação em forma de fotografias.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Preparação do material para a base frontal da calandra didática</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Processo de corte do material para a base da calandra didática</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;">   </div> <p style="text-align: center;">Processo de usinagem e medição</p>





No Quadro 4 se apresenta o desenvolvimento da etapa Teste/Avaliação da proposta de modelo de aula prática.

Quadro 4. Etapa Teste/Avaliação da proposta de modelo de aula prática

Etapa Teste/Avaliação	
Atividades realizadas	Análise, verificação e comparação com os resultados obtidos no ensaio com os resultados apresentados pela literatura. Realização de testes e avaliações da calandra didática. Alterações e revisões nas etapas desenho e execução/fabricação. Resultados dos testes e avaliações obtidos no ensaio não se encontram em conformidade com os resultados de referência dado pela literatura pertinente ajustes e fatores de correção devem ser realizados afim de alcançar resultados aproximados e avaliar as interações da etapa de execução/fabricação.
Resultado	<p>Teste e avaliação da estrutura física. Fichas dos resultados dos ensaios e testes. Conclusão dos desenhos como última revisão. Registro por fotografias.</p> <div><p>Realização dos testes</p><div><p>Resultado Final</p></div></div>

## 2.4 Resultados

A calandra didática construída tem como princípio o uso da força manual para deformação de peças, o que é um fator limitante com relação a dureza e espessura do material ensaiado.

Um experimento foi realizado com uso de uma chapa de aço 1020 com espessura 2,5 mm, 420,0 mm de comprimento e largura de 55,2 mm e uma chapa de alumínio com espessura de 1,5 mm, 600,0 mm de comprimento e largura de 50,2 mm, com realização de 1 passe de conformação, ou seja, o material foi exposto uma única vez a calandra para adquirir a forma final.

Os raios de curvatura obtidos experimentalmente foram de 11 graus para o aço e 22 graus para o alumínio.

Baseando-se no arco formado e nas características geométricas dos materiais, foi possível calcular o raio de curvatura esperado, com uso de relações matemáticas e geométricas, foi mensurado o raio real de curvatura da peça ao final do experimento.

Tabela 1: Resultados experimentais

Material	Raio de curvatura calculado (graus)	Raio de curvatura real (graus)
Alumínio	7	11
Aço	15	22

Os resultados demonstraram aproximação entre os valores, tendo uma diferença percentual de no máximo 32 %.

A mensuração da dureza do material antes e após a conformação foi realizada num equipamento do tipo digital portátil Time série 5100, obtendo, por meio da média de 3 medidas, 394 para o aço e 299 para o alumínio na escala Leeb, não havendo diferença antes e após o ensaio. Tal variação não foi significativa, o que é esperado, visto que a força manual aplicada é de pequena magnitude, não colaborando de modo efetivo para o encruamento do material.

## 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo de aula prática, MAP, aplicado demonstrou eficiência para obtenção de resultados, visto que sistematiza de forma simples e completa as etapas necessárias para a construção do aparato experimental, neste caso a calandra piramidal.

A calandra produzida foi capaz de realizar a conformação mecânica de uma barra de aço 1020 de espessura 2,5 mm, obtendo como resultado um valor de raio de curvatura real ensaiado igual a 11 graus e uma barra de alumínio de 1,5 mm de espessura com raio de curvatura real ensaiado igual a 22 graus. Desse modo, é perceptível que tal equipamento obteve resultados satisfatórios e coerentes ao esperado.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E290**: Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility. 2014.

BRESCIANI FILHO, Ettore; ZAVAGLIA, C A C; BUTTON, S T; GOMES, Edson; NERY, Fernando Antonio da Costa. **Conformação plástica dos metais**. São Paulo: Editora Unicamp, 1991.





CARMO, Paulo Francisco do. **Proposta de modelo de aula prática para o curso técnico subsequente em mecânica com ênfase no ensino/aprendizagem.** Concurso EPT na CPLP – Ideias inovadoras em educação e trabalho. SETEC/CPLP/CONIF, Edital nº 02/2017. Brasília, 2018.

GROOVER, Mikell. **Introdução aos processos de fabricação.** Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HELMAN, Horacio CETLIN, Paulo Roberto. **Fundamentos da Conformação Mecânica dos Metais.** 2ª. ed., 263 p. São Paulo: Artliber, 2005.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas:** uma abordagem integrada. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 1 CD-ROM

PALMEIRA, Alexandre Alvarenga. **Processos de Dobramentos e Calandragem.** 2005. Universidade do Estado do Rio de Janeiro – Campus Regional de Rezende, Rezende – RJ. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/Thrunk/cap-7-dobramento>. Acessado em 30 de março de 2019.

POLL, Marcia Trojan. **Uma metodologia para automação do processo de conformação por calandras.** 2008. 175 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

RIMEPES - **Rede Ibero-Americana de Estudos sobre Educação Profissional e Evasão Escolar.** IV Colóquio Internacional sobre Educação Profissional e Evasão Escolar. Belo Horizonte: UFMG, RIMEPES, 2015.

## APPLICATION OF THE MAP IN THE DEVELOPMENT OF THE PROTOTYPE OF DIDACTIC ROLLER BENDING BY THE TECHNICAL MECHANICS COURSE' STUDENTS

**Abstract:** *New integrative pedagogical practices are necessary to provide an educational environment in which the student becomes the agent of his knowledge. Considering that the teaching-learning process is dynamic, the use of methodologies that develop and instigate students through proposed challenges is a way to improve skills and experiences beyond the classroom. With this purpose, this work aims to present the phases of the manufacturing process of a manual didactic roller bending using the MAP and study of the radius of curvature obtained in a rod of 1020 carbon steel of 2.5 mm thickness, 420,0 mm length and 55,2 wide and an aluminum commercial plate size of 1.5 mm thickness, 600,0 mm length and 50,2 mm wide. The roller bending is a mechanical device capable of bending plates and profiles, providing radius of up to 360 degrees useful and, in this case, using manual force for fabrication of structures. The Practical Activity Model - MAP, is based on five stages that allows the significant understanding of the skills and abilities of the students in the construction of experimental apparatus or prototypes. The developed didactic manual roller bending was based on the pyramidal type with three rollers supported by 1020 carbon steel frame of 15 mm thickness, two adjustable rollers with diameters of 60.5 mm and the central roller for force application with a diameter of 30 mm. As demonstrated the results of the tests and the radius of curvature*

*it became possible to compare them with the designed according to feasibility studies of the equipment proposal.*

**Key-words:** *Didactic roller bending. Manufacturing process. Metal forming.*