

MÁQUINA DE CONFORMAÇÃO DE TUBOS DE COBRE 3D: Aspectos teóricos

Diogo Oliveira dos Santos¹; Higor Thiago Pereira de Freitas¹; André Aparecido Leal de Almeida^{2,6}; Luan Estevam Francisco^{3,6}; Lucas Nuud Táparo^{4,6}; Richard Vieira do Espírito Santo^{5,6*}

¹ Graduando em Engenharia Elétrica, Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS; ² Esp. em Segurança Cibernética – IGTI; ³ Graduação em Sistemas para Internet – IFMS; ⁴ Esp. em Engenharia de Dados – UNOPAR; ⁵ Esp. em Engenharia de Software – Universidade Estácio de Sá; ⁶ Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

* autor correspondente: richard_ves@hotmail.com

RESUMO

O objetivo do artigo é viabilizar o projeto de uma máquina de conformação de tubos controlada por um Arduino. Realizou-se uma revisão bibliográfica de artigos científicos, usando como base, o banco de dados do Google Acadêmico, e pesquisas nos sites virtuais dos fabricantes das tecnologias abordadas no estudo. Não existem muitos artigos referentes ao assunto, porém os que foram encontrados contribuíram muito para o desenvolvimento da pesquisa, o website dos fabricantes foram fundamentais para a revisão bibliográfica tendo em vista que todo o conteúdo encontrado para a pesquisa foi rico de informações tanto na parte de especificações técnicas como com modelos de aplicabilidade na prática, isso contribuiu para o desenvolvimento e melhora da ideia inicial da pesquisa. Através da revisão bibliográfica realizada foi possível vislumbrar que o desenvolvimento de uma máquina de conformação de tubos automática mais enxuta e com uma tecnologia mais barata é totalmente viável do ponto de vista comercial, pois as máquinas comercializadas não realizam apenas a conformação de tubos separada, com isso o preço é elevado tornando assim inviável a compra apenas para a conformação de tubos.

PALAVRA-CHAVE: Arduino; conformação de tubos; motor de passo; máquinas de refrigeração; dobradeira de tubos; placas do Arduino.

1 INTRODUÇÃO

Existem fábricas especializadas em fazer máquinas de refrigeração que utilizam de trabalho manual para fazer a conformação (dobra) de tubos de cobre para utilização em máquinas de refrigeração. Esse trabalho manual é utilizado por não existir uma opção de baixo custo no mercado, com esse tipo de serviço, cada máquina de refrigeração sai da linha de produção com os tubos dobrados de formas diferentes, mesmo que a mesma pessoa faça várias tubulações, uma nunca vai ser igual a outra, dessa maneira ocorre muito desperdício de material e não é possível ter um controle da padronização e da qualidade das tubulações de cobre das máquinas de

refrigeração.

Hoje existem no mercado algumas máquinas que fazem esse tipo de serviço, porém o custo é muito elevado, foi feito um levantamento no mercado e uma máquina que faz esse tipo de serviço custa em média R\$ 250 mil reais, isso porque essas máquinas fazem outros serviços além da dobra de tubos, desenvolvendo uma máquina para esse tipo de serviço em específico o custo cai para menos de 5% do valor dessas máquinas mais completas, dessa maneira é possível oferecer um produto de baixo custo e que padronize as tubulações instaladas nas máquinas de refrigeração, por consequência acarreta uma redução de custos a longo prazo evitando desperdício de material e ao mesmo tempo

agregando valor no produto final.

O objetivo desse projeto é desenvolver uma máquina de conformar tubos que solucione a falta de padrão e de qualidade na dobra de tubos de cobre para máquinas de refrigeração.

Para a obtenção de artigos sobre este tema, realizou-se buscas no sítio virtual *Google Acadêmico*, além de livros relacionados ao tema. As palavras-chaves utilizadas foram máquinas de conformação; dobradeira de tubos, características do cobre, programando um Arduino, máquinas de refrigeração; porque utilizar cobre em tubulações de refrigeração; conformação de tubo de cobre; técnicas de dobras de tubos.

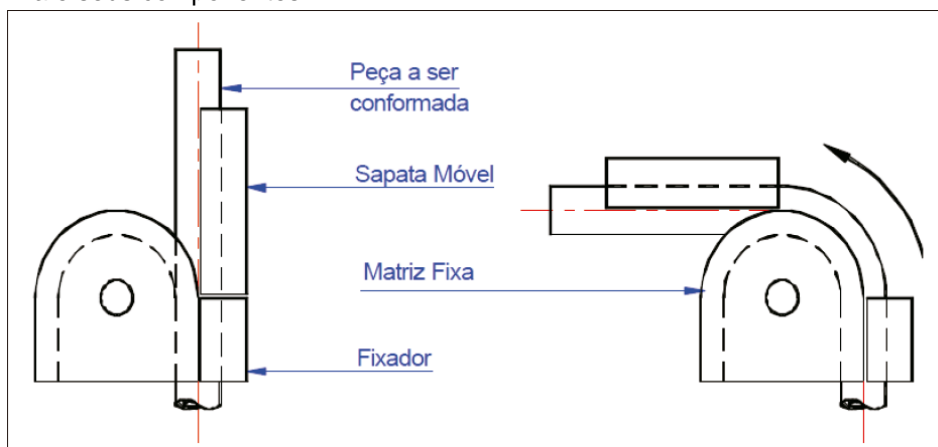
2 DOBRAMENTO DE TUBOS

Dobramento é uma operação de

conformação mecânica que consiste em realizar dobras e curvaturas em chapas ou tubos metálicos. O dobramento ocorre pela aplicação de um momento fletor capaz de deformar plasticamente o material (GROOVER, 2007).

De acordo com *American Society for Metals Handbook* (1988) os métodos mais utilizados para dobramento de tubos são (i) dobramento por tração; (ii) dobramento por compressão; (iii) dobramento por estiramento e (iv) calandragem. Dentre os quatro métodos citados o de maior relevância é o método por compressão. Segundo González (2000), no dobramento por compressão o tubo é preso a uma matriz fixa, com o raio desejado. A dobra acontece pela aplicação de força à sapata móvel, que empurra o tubo contra a matriz fixa até seu formato final, conforme a Figura 1.

Figura 1. Dobramento por Compressão. Representação da matriz de dobra fixa e seus componentes.



Fonte: Extraído de González, 2000.

2.1 Máquinas de dobrar tubos

Russo Junior (1997) propõem uma classificação de máquinas para dobrar tubos em três categorias, (i) dobradeiras por rotação; (ii) prensas hidráulicas; e (iii) dobradeiras por rolagem de tubos ou calandras. As dobradeiras de tubo por rotação se baseiam no princípio de dobramento por tração, compressão ou estiramento. A Figura 2 ilustra uma máquina manual de dobrar tubos.

3 ARDUINO

Para a parte de automação será utilizado um Arduino Mega 2560, que é uma plataforma de prototipagem composta por um microcontrolador Atmel, circuitos de entrada e saída que podem ser facilmente conectados a um computador e ser programados via *IDE (integrated development environment, ou ambiente de desenvolvimento integrado)* utilizando uma linguagem de

programação baseada em C/C++ (linguagem de programação utilizada para desenvolver o programa que será executado no Arduino), sem a necessidade de equipamentos extras além de um cabo *USB*. Para se escrever a programação é utilizado uma *IDE*, esse ambiente é um *software* usado para se programar o Arduino. A *IDE* permite que você escreva um conjunto de instruções passo a passo do que o Arduino deve fazer, e após inserir essas instruções nesse programa é necessário fazer o *upload* desse código para o Arduino, a transferência é feita através que um cabo *USB*. Ao finalizar a transferência do programa para o Arduino, ele executará essas instruções e irá interagir com qualquer circuito ou sistema que você tenha conectado a ele.

O Arduino foi escolhido por ter um baixo custo e atende todos os itens necessários para a automação de uma dobradeira de tubos manual, a Figura 3

ilustra o Arduino MEGA 2560.

O Arduino Mega 2560 é uma placa microcontrolada, ela possui 54 pinos de entrada/saída digital, 16 entradas analógicas, 4 *UARTs* (portas seriais de *hardware*), uma conexão *USB*, um conector de alimentação e um botão de *reset*.

Figura 2. Dobradeira por rotação manual. Representação de uma dobradeira manual.



Fonte: Extraído de Ferramentas Kennedy, 2021.

Figura 3. Arduino MEGA 2560, microcontrolador. Representação de um microcontrolador Arduino MEGA 2560.



Fonte: Extraído de Arduino.cc Store, 2021.

3.1 Placas de expansão de funcionalidades do Arduino

O Arduino é o dispositivo que recebe e envia informações para o funcionamento sincronizado da máquina, porém o Arduino utiliza algumas placas para funções adicionais, como exemplo segue as seguintes placas, (i) MP-3540B; (ii) módulo relé estado sólido.

O módulo MP-3540B da AUMEK (Figura 4) faz o controle dos motores de passo.

O MP-3540B é um controlador de motor de passo que opera em MICRO-PASSO, isto é, ele é capaz de dividir o passo do motor de 2-255 vezes aumentando a precisão e acabando com efeito de ressonância do motor (vibração). O

circuito do controlador é isolado por acopladores ópticos de baixo consumo. A saída de potência é feita por *MOSFET* e processada por tecnologia *RISC* numa frequência de 10 MIPS (milhões de instruções por segundo). A corrente é controlada através do método “*chopping*” acima de 20 kHz numa frequência não audível (AUMEK, 2021).

Figura 4. Módulo MP-3540B (AUMEK). Representação de uma placa driver para controle de motores de passo.



Fonte: Extraído de AUMEK, 2021.

É possível ajustar os seguintes parâmetros: (i) redução de corrente para 50%, quando o motor estiver parado por mais de 3 segundos; (ii) corrente máxima; (iii) auto-teste; (iv) resolução de passos (AUMEK, 2021).

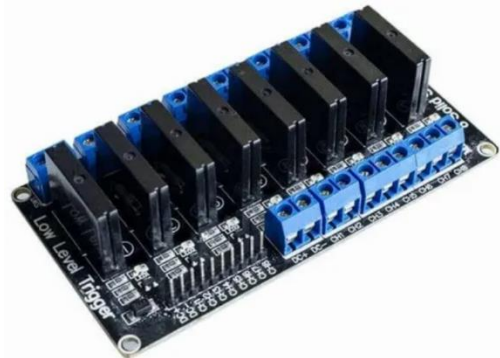
O módulo relé de estado sólido (Figura 5) é utilizado para atuar as válvulas pneumáticas e outros dispositivos se necessário.

O relé de estado sólido é utilizado para atuar as bobinas das válvulas solenoides pois a tensão de atuação dessas bobinas é de 24 Vcc, e a saída digital do Arduino em nível lógico alto entrega 5 Vcc.

O Arduino envia um sinal de tensão para o relé de estado sólido e esse por sua vez atua liberando uma tensão de 24 Vcc proveniente de uma fonte externa, devido a sua grande velocidade de comutação o relé de estado sólido é ideal para a substituição de relés comuns e contadores, algumas características do relé de estado sólido que diferenciam ele de outros tipos de relés: (i) não possuem

partes móveis e componentes mecânicos; (ii) não há nenhum tipo de contato que pode gerar arcos; (iii) seu material não desgasta com o tempo de uso; (iv) inexistência de qualquer ruído acústico. (v) ausência de *EMI* (Interferência eletromagnética) na comutação; (vi) sua durabilidade, assim como a velocidade de comutação são maiores; (vii) o raio de tensão e correntes são maiores.

Figura 5. Módulo relé estado sólido (Eletrogate). Representação de uma placa módulo de relés de estado sólido.



Fonte: Extraído de Eletrogate, 2021.

4 MOTORES

Três motores de passo são utilizados para a dobra dos tubos nos eixos X, Y e Z, a função desses motores é dobrar o tubo conforme a programação do usuário, esses motores serão controlados pela placa auxiliar MP 100 (AUMEK), que por sua vez é controlada pelo Arduino.

Figura 6. Motor de passo (POLICOMP). Representação de um motor de passo no modelo NEMA 34.



Fonte: Extraído de POLICOMP, 2021.

A potência e torque dos motores é definida nos testes prático, porém o modelo é semelhante ao da Figura 6.

5 VÁLVULAS

As válvulas pneumáticas são responsáveis por atuar os pistões que por sua vez, atuam auxiliando na conformação de tubos. A Figura 7 ilustra um conjunto de válvulas montadas em bloco.

Figura 7. Conjunto de Válvulas pneumáticas montadas em bloco. Representação de Válvulas pneumáticas montadas em bloco.



Fonte: Elaborado pelos autores.

6 PISTÕES

Os pistões são os dispositivos que auxiliam no direcionamento e travamento dos tubos, agem pelas válvulas pneumáticas que são acionadas pelos relés de estado sólido, que por sua vez, são controlados pelo Arduíno. A Figura 8 tem a representação do pistão.

Figura 8. Pistões Pneumáticos. Representação de pistões pneumáticos.



Fonte: Elaborado pelos autores.

7 COBRE

O cobre é o material utilizado na construção dos tubos que essas máquinas conformam, pois se trata de tubos para de máquinas de refrigeração. Segundo Marques (2018), entre inúmeras características que definem o cobre como o elemento ideal para a utilização em refrigeração e climatização, destaca-se sua alta condutividade térmica.

Quando um tubo de cobre não é dobrado da maneira correta ele pode ocasionar em um rompimento causando vazamentos e até mesmo prejudicando ou ocasionando ineficiência no sistema de refrigeração, a Tabela 1 indica qual o raio de curvatura é o correto a se utilizar, de acordo com o diâmetro externo da tubulação, os dados que foram utilizados na Tabela 1 são os indicados por fabricantes de tubos de cobre.

Tabela 1. Ângulos indicados por fabricantes de tubos.

D: Diâmetro externo da tubulação (mm)	R: Raio de curvatura (mm)
Ø1/4" (6,35)	30 ou mais
Ø 3/8" (9,52)	30 ou mais
Ø1/2" (12,7)	40 ou mais
Ø5/8" (15,88)	50 ou mais

Fonte: Elaborado pelos autores.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de uma máquina de conformar tubos desenvolvida a partir do estudo apresentado é

totalmente viável para o mercado, a tecnologia abordada na revisão é de baixo custo e é capaz de entregar os resultados esperados.

Sendo assim, é possível afirmar

que esse projeto é viável se tratando tanto na questão de custos quanto na questão de qualidade e tem o potencial de oferecer para o mercado uma máquina com o preço reduzido e que tenha um alto nível de eficiência na conformação de tubos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR MATERIALS, Metals Handbook, 9. ed. v. 14, 1988.

ARDUINO.CC STORE. Arduino Mega 2560 REV3. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>>. Acesso em: 02 abr. 2021.

AUMEK. Módulo MP 100. Disponível em: <<https://aumek.com.br/servicos/automaacao/>>. Acesso em: 02 abr. 2021.

ELETROGATE. Módulo Rele 5V de Estado Sólido SSR 8 Canais. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/modulo-rele-5v-de-estado-solido-ssr-8-canais?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&gclid=EAlaI-QobChMI75Cn8rWY8Al-VSQuRCh13HAdWEAQYAyABE-gLr4fD_BwE>. Acesso em: 02 abr. 2021.

FERRAMENTAS KENNEDY. Dobrador de Tubo Manual 3/8" a 1.1/4" Pem Metalúrgica – Disponível em: <https://www.ferramentaskennedy.com.br/30085/dobrador-de-tubo-manual-38-a-114-pem-metalurgica?utm_source=google-shop&utm_medium=shop&utm_campaign=google_shop&gclid=EAlaI-QobChMIprMz6uY8AIVEICRCh1heQDCE-AQYASABEgloBPD_BwE>. Acesso em: 20 abr. 2021.

GROOVER, M. P. *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems*. 3. ed. United States of America: John Wiley & Sons, 2007.

GRUPO DE ROBOTICA UFMS. Introdução ao Arduino. Disponível em: <http://profsergiogodoy.com.br/apostilas/arduino_basico_UFMS.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2021.

MARQUES, J. J. A. Boas práticas no uso do cobre para refrigeração e climatização. Disponível em: <<http://www.abcobre.org.br/uploads/conteudo/conteudo/2019/11/6WKe0/boas-praticas-uso-cobre-climatizacao.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2021.

MCROBERTS, M. Arduino Básico. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=kfZyDwAAQBAJ&lpg=PT4&ots=1RuYr7KTGM&dq=arduino&lr&hl=pt-BR&pg=PP1#v=onepage&q=arduino&f=false>>. Acesso em: 01 mar. 2021.

POLICOMP. Motor de Passo MENA 34 – 85KGF.CM. Disponível em: <<https://www.lojapolicompcomponentes.com.br/produtos/motor-de-passo-nema-34-85kgf-cm/>>. Acesso em: 02 abr. 2021.

RUSSO JUNIOR, A. Análise do Dobramento de Tubo Com Comportamento Elástico – Perfeito Plástico. 1997. 109 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica e Aeronáutica, Departamento de Tecnologia de Fabricação, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, Sp, 1997. Disponível em: <<http://www.bd.bibl.ita.br/tesesdigitais/000381431.pdf>>. Acesso em: 03 fev. 2021.