

# PROPOSTA PARA AUTOMAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE SOLDA POR ONDA UTILIZANDO ARDUINO

PROPOSAL FOR AUTOMATION OF A WAVE SOLDERING MACHINE USING ARDUINO

BRESOLIN, Leandro Iglesias <sup>1</sup>  
RIBEIRO, Cireneu Tanan Tonioni <sup>2</sup>  
GONÇALVES, João Bosco <sup>3</sup>

## RESUMO

Este artigo tem como objetivo principal apresentar uma proposta para automatizar uma máquina de solda por onda, atualmente em operação em uma empresa de médio porte, utilizando uma placa Arduino como interface lógica de controle e comandos. A elaboração deste documento foi feita através de pesquisas em documentos técnicos dos fabricantes e em artigos internacionais disponíveis na internet.

**Palavras-chave:** Arduino; Automação; Máquina de Solda; Solda por Onda.

## ABSTRACT

The main objective of this paper is to present a proposal to automate a wave soldering machine, currently in operation in a medium-sized company, using an Arduino board as commands and control logic interface. The preparation of this document was based on research of manufacturers' technical documents and international articles available on the internet.

**Keywords:** Arduino; Automation; Soldering Machine; Wave Soldering.

---

<sup>1</sup>Pós-Graduando do Curso Automação e Controle Industrial da Universidade de Taubaté, leandrobresolin@gmail.com

<sup>2</sup>Pós-Graduando do Curso Automação e Controle Industrial da Universidade de Taubaté, cireneu@gmail.com

<sup>3</sup>Professor Orientador do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Taubaté, joao.goncalves@unitau.com.br

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, grande parte das máquinas utilizadas nas indústrias, seja ela de grande, médio ou pequeno porte, na maioria das vezes são muito antigas. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (Abimaq), em entrevista concedida para o jornal "O Globo" (Set. 2013), a idade média das máquinas em uso no Brasil é de 17 anos, enquanto na Alemanha é de 5 anos e, nos Estados Unidos, 7 anos.

Devido ao alto custo envolvido na compra de novas máquinas, quando um problema ocorre, ou quando é necessário fazer uma adaptação no equipamento, as empresas recorrem às assistências técnicas e muitas vezes ao próprio fabricante da máquina, para tentar reduzir o impacto em sua produção. Acontece que, após vários anos em operação, torna-se cada vez mais difícil encontrar peças para o reparo, principalmente quando o modelo da máquina já não é mais fabricado há muito tempo.

Pensando nisso, a proposta do nosso trabalho é automatizar uma máquina de solda por onda, como mostra a Figura 1, fabricada em 1997, que atualmente está em operação em uma empresa de telecomunicações de médio porte, utilizando o Arduino como interface inteligente de controle e comandos, aproveitando a estrutura mecânica e elétrica existentes na máquina.

## 2. PROCESSO DE SOLDA POR ONDA

O processo de solda por onda foi criado em 1955 por Allan Barnes e Ralph Strauss, que na época trabalhavam na empresa Inglesa, Frys Metal Foundries, e tinham como objetivo desenvolver uma maneira mais rápida e eficiente para soldar componentes eletrônicos, tipo *through-hole*<sup>4</sup>, em placas de circuito impresso. Em 1956, Allan Barnes, Ralph Strauss e Vic Elliot patentearam a invenção que revolucionou o desenvolvimento eletrônico na época, oferecendo um método econômico para a produção em massa de placas eletrônicas.

<sup>4</sup> A tecnologia *through-hole*, refere-se a um esquema de montagem em que os componentes eletrônicos são inseridos em furos abertos nas Placas de Circuito Impresso (PCB – *Printed Circuit Board*) e soldados na superfície do lado oposto.

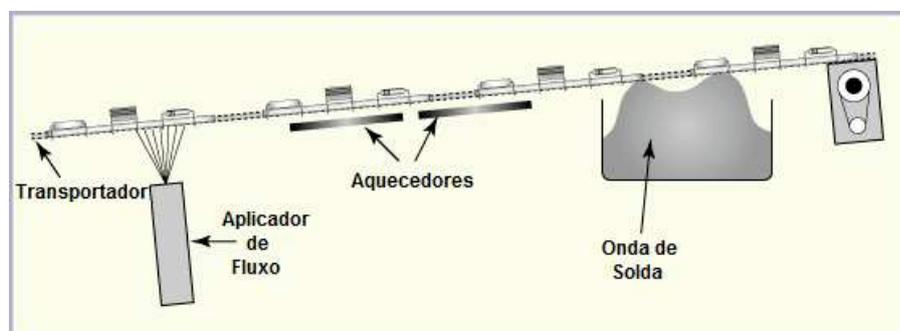


**Figura 1 – Máquina de Solda por Onda**  
 Fonte: (Bresolin e Ribeiro, 2017)

## 2.1. Funcionamento

Solda por onda é um processo em série, no qual a parte inferior da placa de circuito impresso, chamado de *bottom*, recebe uma camada de aplicação de fluxo, posteriormente é pré-aquecida, imersa em solda no estado líquido e, em seguida resfriada, como ilustrado na Figura 2.

Durante todo o processo, a placa está fixada em um suporte, chamado *pallet*, que é carregado do início ao fim pela correia do transportador.

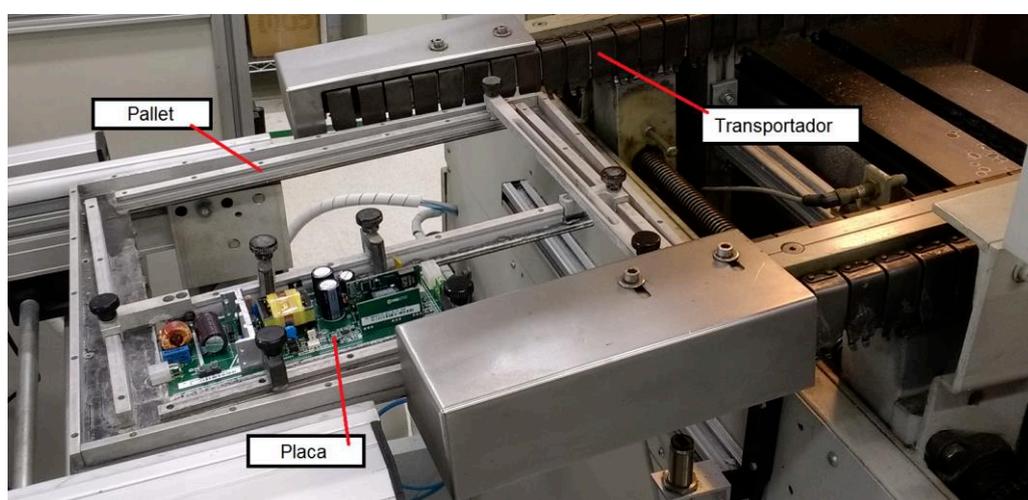


**Figura 2 – Sequência da máquina de solda por onda**  
 Fonte: (Martin Tarr, 2007 – Idioma original: Inglês)

## 2.2. Transportador

O sistema transportador, exibido na Figura 3, é responsável por movimentar as placas de circuito impresso por todas as etapas necessárias no processo de solda por onda.

As placas são fixadas em pallets, que são transportados pelos ganchos do transportador durante o percurso pelo interior da máquina. As especificações do motor do transportador encontram-se na Tabela 1.



**Figura 3 – Pallet, Placa e Transportador**

Fonte: (Bresolin e Ribeiro, 2017)

**Tabela 1 – Especificações técnicas do motor do transportador**

---

Velocidade	0 – 4 metros/minuto
Motor	1/4 hp @ 90 VDC - 2.2 A
Capacidade máx.	18 kg

---

Fonte: (Electrovert)

## 2.3. Aplicação de Fluxo

O fluxo utilizado no processo de solda por onda é um líquido de baixa viscosidade e tem como principal função remover a fina camada de óxido que se forma na superfície a ser soldada criando um bom contato metal-metal.

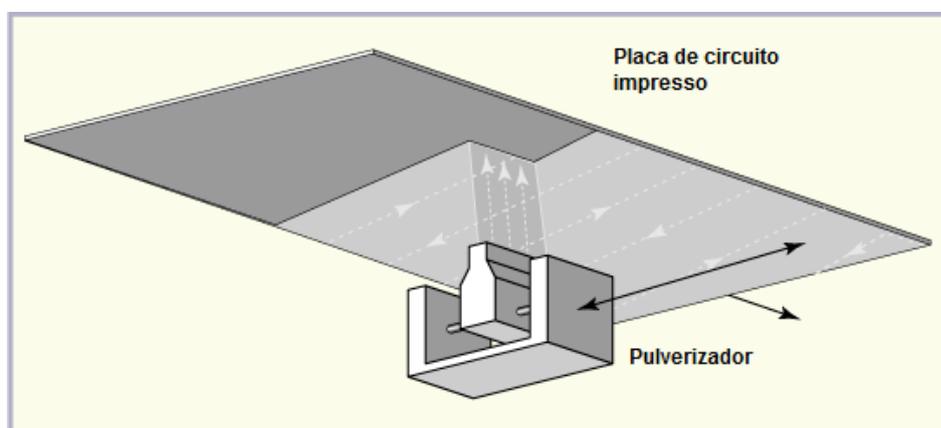
O modelo de fluxo utilizado na máquina deste trabalho é o Alpha EF-6100P da empresa Alent (Figura 4), que é indicado para aplicações com solda livre de chumbo (*lead free*).



**Figura 4 – Fluxo**

Fonte: (Bresolin e Ribeiro, 2017)

A aplicação do fluxo deve ser feita uniformemente em toda superfície a ser soldada e, neste caso, é feita através de um sistema de pulverização, onde um tanque pressurizado alimenta o pulverizador aplicando a quantidade necessária do material. A Figura 5 representa o funcionamento do pulverizador de fluxo.



**Figura 5 – Pulverizador**

Fonte: (Martin Tarr, 2007)

Quando o sensor de presença, existente no setor de aplicação de fluxo, detecta um pallet, inicia-se a movimentação do pulverizador e uma válvula solenoide, especificada na Tabela 2, libera a passagem do fluxo pressurizado.

**Tabela 2 – Especificações da válvula solenoide para liberação do fluxo**

---

Fabricante	Klein
Alimentação	24 VDC
Temp. de operação	-5 a 80 °C
Pressão de trabalho	0 a 7 bar
Sinal de saída	PNP
Tipo	NF

---

Fonte: (Klein)

Dois sensores indutivos, especificados na Tabela 3, são utilizados para limitar a distância percorrida pelo pulverizador.

**Tabela 3 – Especificações dos sensores fim de curso do pulverizador**

---

Fabricante	Metaltext
Alimentação	10~36 VDC
Temp. de operação	-25 a 60 °C
Sinal de saída	NPN
Tipo	NA

---

Fonte: (Metaltext)

A movimentação do pulverizador é feita por acionamento eletropneumático utilizando uma válvula 5/2 especificada na Tabela 4.

**Tabela 4 – Especificações da válvula eletropneumática para movimentação do pulverizador**

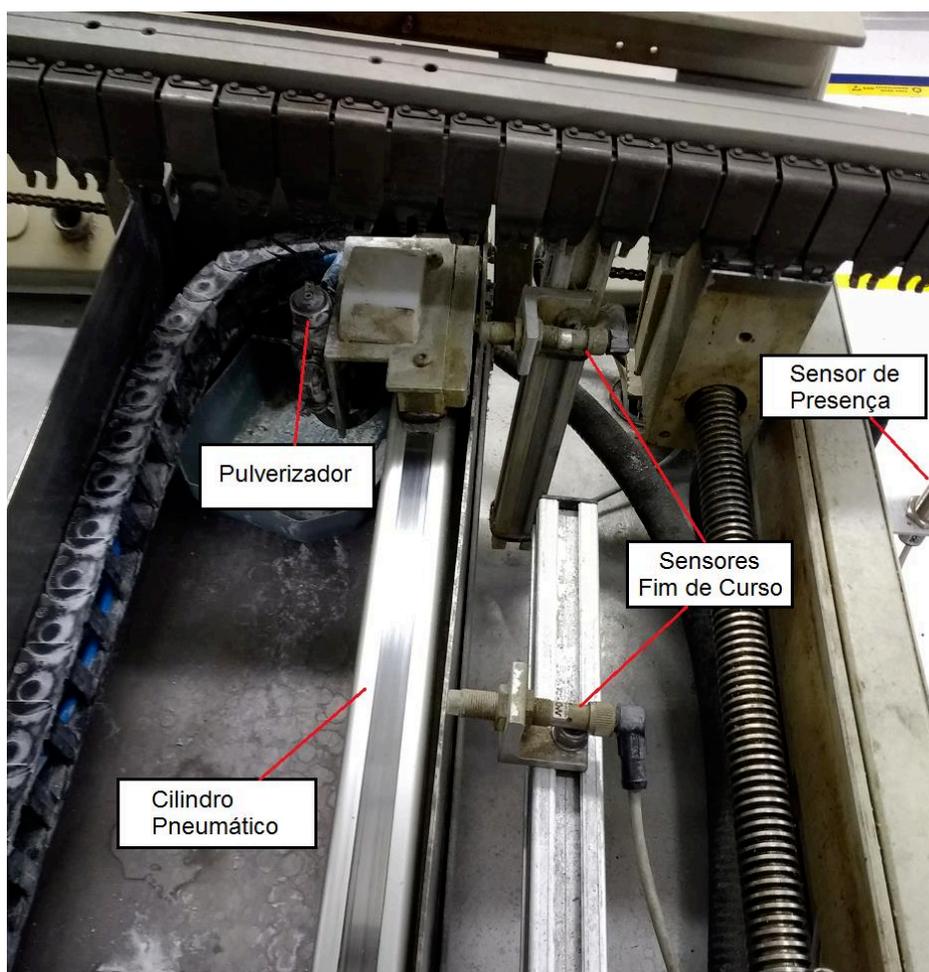
---

Fabricante	Festo
Alimentação	5, 12 e 24 VDC
Funções	5/2 vias
Pressão operacional	1,5 até 8 bar

---

Fonte: (Festo)

Após a passagem do pallet, o fluxo é cortado e o pulverizador retorna à posição inicial. Os componentes presentes no setor de aplicação de fluxo estão identificados na Figura 6.



**Figura 6 – Componentes do setor de aplicação de fluxo**  
Fonte: (Bresolin e Ribeiro, 2017)

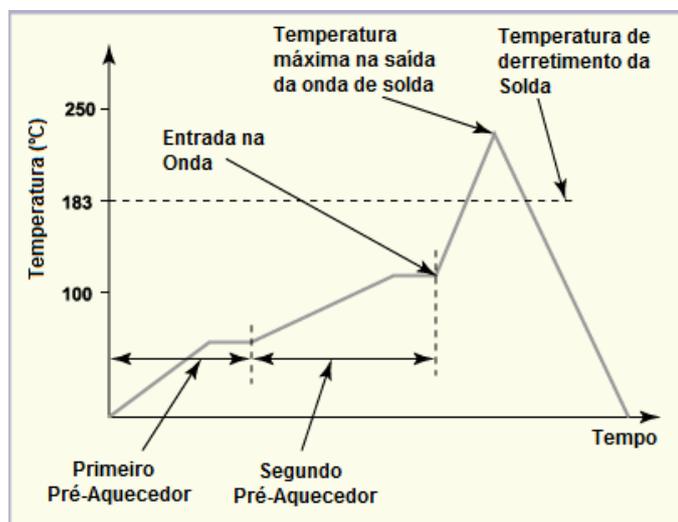
## 2.4. Pré-Aquecedores

Para que uma placa seja soldada corretamente é necessário que, após aplicação do fluxo, ela seja pré-aquecida a uma temperatura entre 80°C e 100°C, dependendo do tipo de fluxo utilizado, antes de passar pela onda de solda. Os principais motivos para pré-aquecer a placa são:

- Iniciar ativação do fluxo: Alguns tipos de fluxos dependem de calor para tornarem-se ativos e obterem o desempenho esperado durante a solda.
- Reduzir choque térmico nas placas e componentes: o aumento repentino na temperatura pode danificar alguns tipos de componentes e causar deformação (Delaminação e/ou empenamento) nas placas de circuito impresso. Dependendo do grau de deformação, as trilhas de cobre ou vias metalizadas, poderão se romper e as placas não funcionarão corretamente.

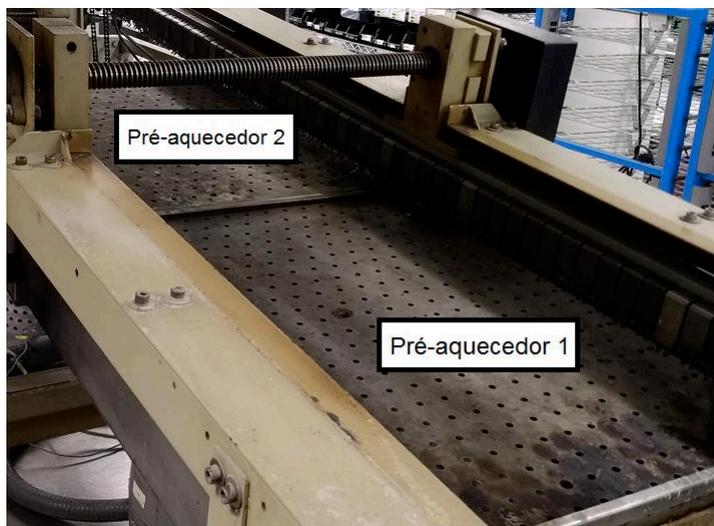
O processo de pré-aquecimento é normalmente feito em duas etapas, elevando a temperatura da placa gradativamente como mostra o Gráfico 1. É importante garantir que todas as áreas da placa sejam igualmente aquecidas, para evitar problemas na fusão da solda com os terminais dos componentes.

**Gráfico 1 – Processo de pré-aquecimento de uma placa de circuito impresso**



Fonte: (Martin Tarr, 2007 – Idioma original: Inglês)

A Figura 7 mostra o setor de pré-aquecimento que é composto por dois aquecedores especificados na Tabela 5.



**Figura 7 – Setor de pré-aquecimento**  
Fonte: (Bresolin e Ribeiro, 2017)

**Tabela 5 – Especificações dos aquecedores**

---

Alimentação	240 VAC
Temp. máxima	204 °C
Variação máx. temp.	+/- 2.2 °C
Potência máxima	12.2 kW por aquecedor

---

Fonte: (Electrovert)

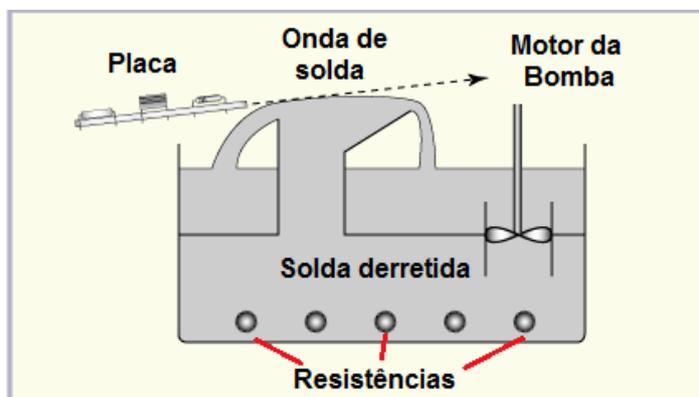
## 2.5. Onda de Solda

A onda de solda promove o contato entre a solda e os terminais dos componentes da PCB.

Quando o sensor detecta a presença do pallet no setor de solda, o motor da bomba é acionado, forçando a solda derretida para cima através do bocal de onda. Conforme a placa se movimenta sobre a onda de solda, os terminais dos

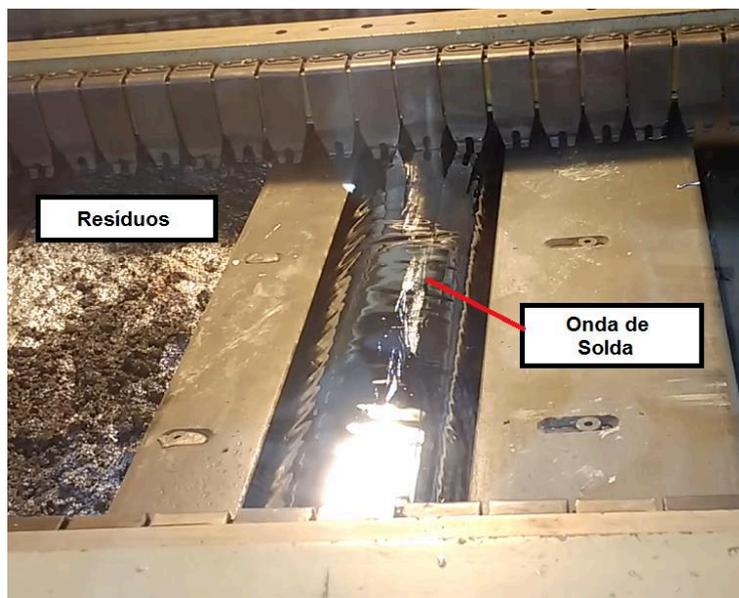
componentes são soldados na PCB. Após a passagem do pallet, o motor da bomba é desligado para reduzir a formação de impurezas<sup>5</sup>.

O processo de solda descrito anteriormente é representado pela Figura 8.



**Figura 8 – Módulo de solda por onda**  
Fonte: (Martin Tarr, 2007 – Adaptado)

A Figura 9 mostra a onda de solda quando está ativada e os resíduos (impurezas) que se formam durante o processo. Esses resíduos devem ser removidos sempre que necessário.



**Figura 9 – Onda de solda**  
Fonte: (Bresolin e Ribeiro, 2017)

<sup>5</sup> A formação de impurezas (resíduos) ocorre quando a solda bombeada, em contato com o oxigênio do ar e o fluxo da placa, cria uma camada de óxido que não se mistura com a solda derretida.

As especificações do módulo de solda estão disponíveis na Tabela 6.

**Tabela 6 – Especificações do módulo de solda**

Motor da bomba	1/17 hp @ 90 VDC
Resistências	6 barras de 1.4kW @ 240 VAC
Temperatura	Ambiente à 316°C
Tempo de aquecimento	3 – 4 horas (Ambiente à 260°C)

Fonte: (Electrovert)

### 3. DESENVOLVIMENTO

Esse projeto utilizará a plataforma “Arduino UNO”, representado na Figura 10 e especificado na Tabela 7, como unidade de processamento e controle, em conjunto com uma interface de potência que será instalada para acionar os motores e resistências, funcionando também como interface de entrada dos sensores da máquina.

A proposta desse trabalho é implementar a leitura dos sensores digitais e atuar nos motores e resistências da máquina de solda por onda, por meio de acionamentos de relés, sem considerar o controle de temperatura das resistências e a velocidade dos motores, recursos que poderão ser implementados em melhorias futuras.



**Figura 10 – Arduino UNO**  
Fonte: (Arduino, 2017)

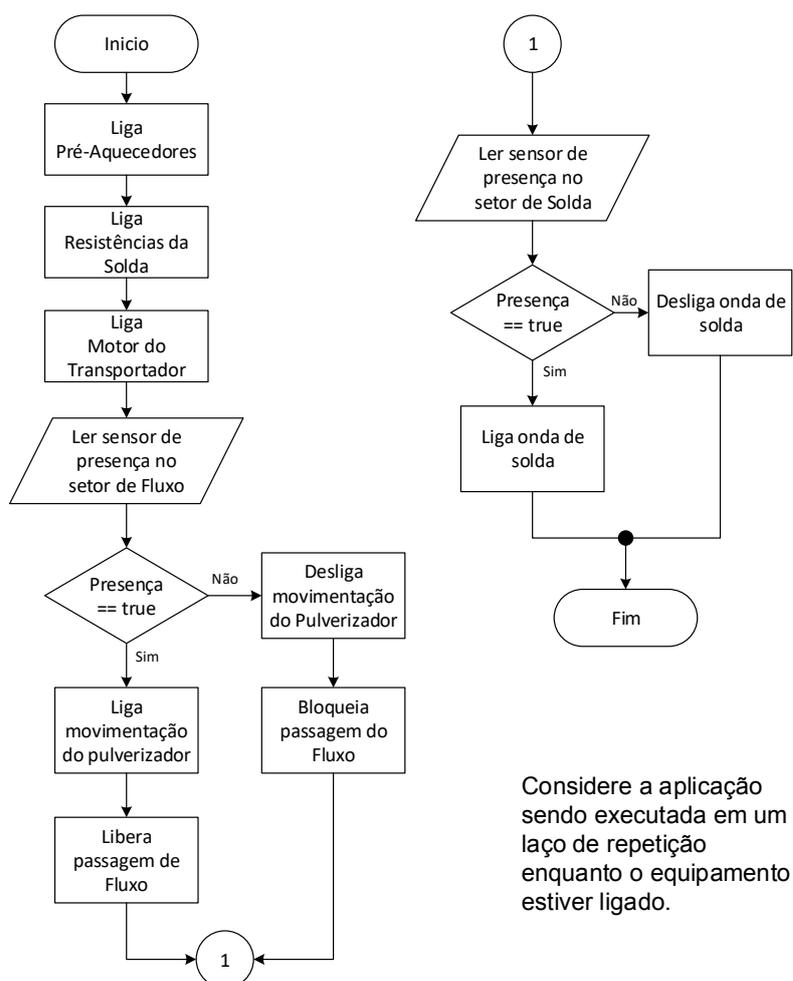
**Tabela 7 – Especificações da plataforma Arduino UNO**

Microcontrolador	ATmega328P – 16 MHZ
Tensão de operação	5 V
Tensão de entrada	7 V a 12 V
Pinos de E/S digitais	14 (6 deles com saída PWM)
Pinos de Entradas analógicas	6

Fonte: (Arduino)

### 3.1. Fluxograma da aplicação

A Figura 11 mostra o fluxograma da aplicação que deverá ser executada no Arduino.



**Figura 11 – Fluxograma da Aplicação**

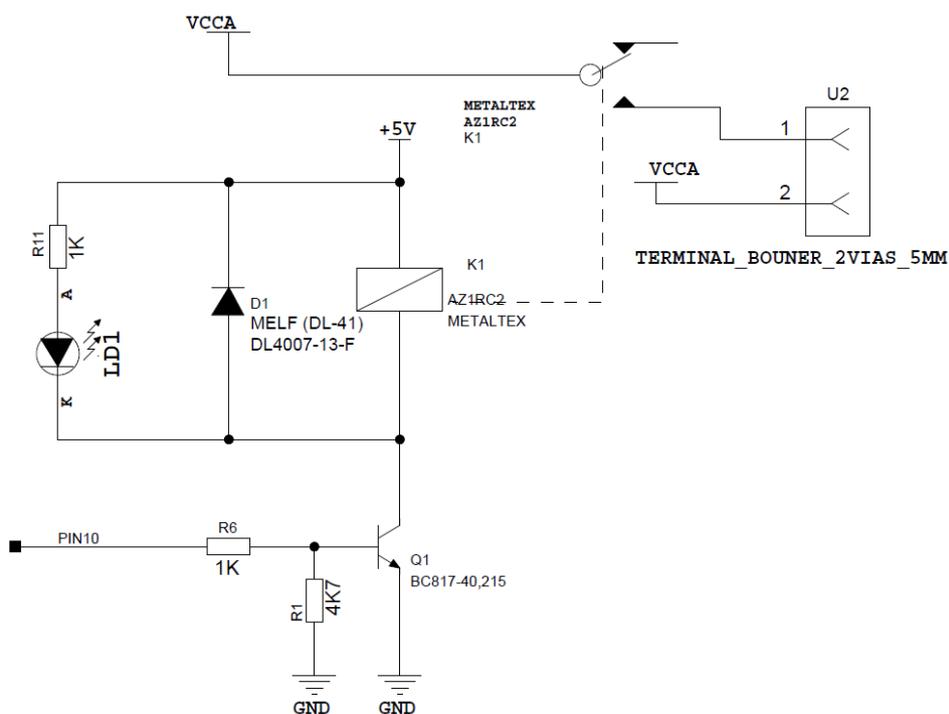
Fonte: (Bresolin e Ribeiro, 2017)

### 3.2. Interface de hardware

O *hardware* tem um papel fundamental em qualquer projeto que envolva automação, seja ela industrial, comercial ou residencial e sua harmonia com o *software* é imprescindível.

Os circuitos elétricos e as placas desenvolvidas para este projeto estão de acordo com a proposta descrita no documento. Ao todo, foram desenvolvidos dois *shields*<sup>6</sup> para o acionamento dos motores e para leitura dos sensores.

Considerando o *shield* número 1, ele é composto por quatro circuitos de acionamento de transistores, que por sua vez chaveiam os relés para alimentarem as cargas, conforme Figura 12.

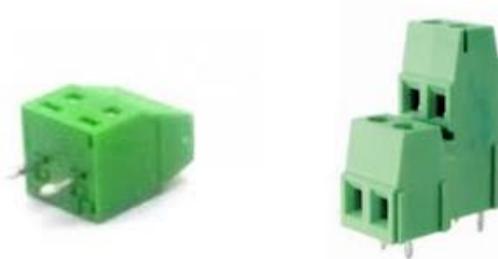


**Figura 12 – Circuito de acionamento das cargas**  
Fonte: (Ribeiro, 2017)

Os relés têm um papel fundamental que é isolar o circuito de alta potência do circuito de baixa potência, ou seja, isolar o circuito de carga do circuito de controle.

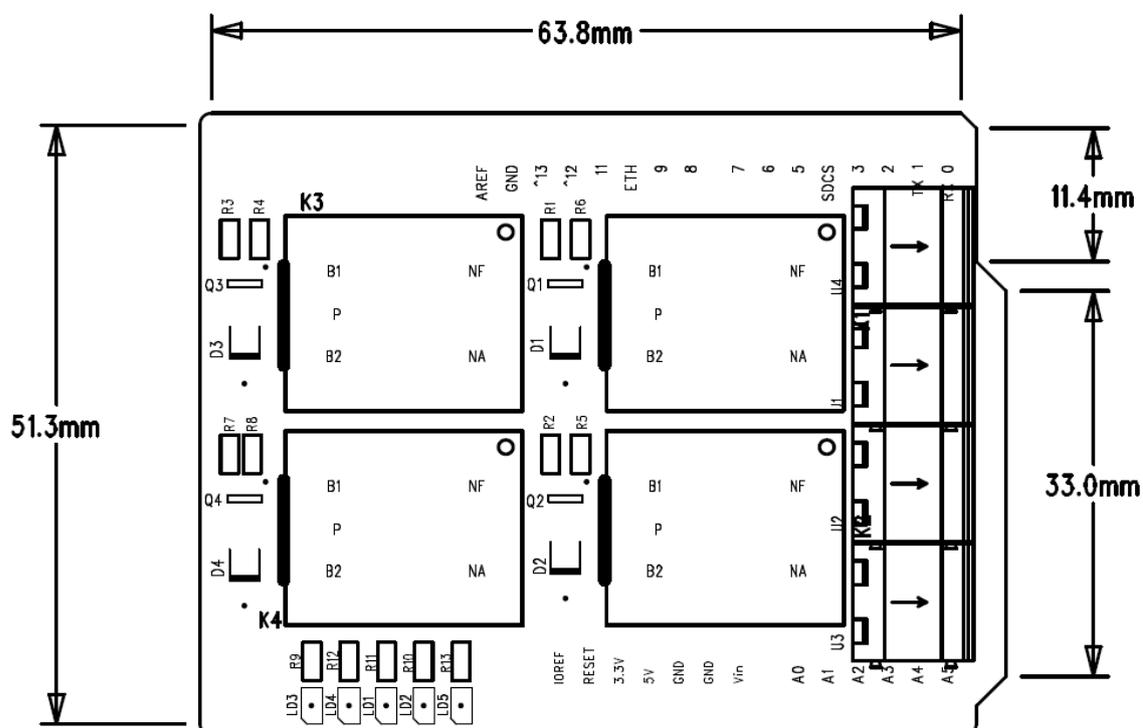
<sup>6</sup> São placas de expansão de hardware que se encaixam no módulo microcontrolador principal, nesse caso, o Arduino.

O circuito mostrado na Figura 12, possui um Borne, representado na Figura 13, para conexão da placa com os dispositivos da máquina onde, neste caso, será para o motor do Transportador.



**Figura 13 – Borne para conexão da placa com os dispositivos da máquina**  
Fonte: (Eletrodex, 2017)

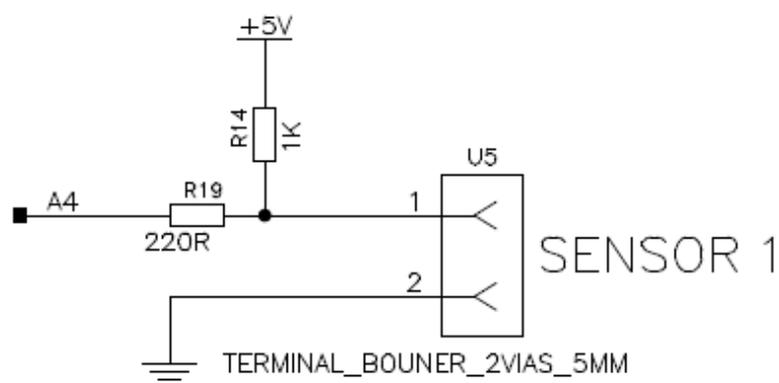
No *shield 1*, exibido na Figura 14, serão conectados os motores do transportador, pré-aquecedor 1, pré-aquecedor 2 e o motor da onda de solda. Para acessar o esquema elétrico completo dessa placa, veja o Anexo 1 no final deste documento.



**Figura 14 – Shield 1 – 4 Saídas**  
Fonte: (Ribeiro, 2017)

A próxima placa, o *shield 2*, é composto por mais 4 circuitos de saída onde um deles será utilizado para controlar a válvula solenoide responsável pela liberação da passagem do fluxo. Outras duas saídas serão utilizadas para controlar os comandos vai e volta (A+ e A-) da válvula eletropneumática que movimenta o pulverizador de fluxo. Uma saída é reservada e não será utilizada neste momento.

Essa placa também possui cinco circuitos de entrada, conforme Figura 15, onde os sensores da máquina serão conectados.



**Figura 15 – Circuito de entrada para os sensores**

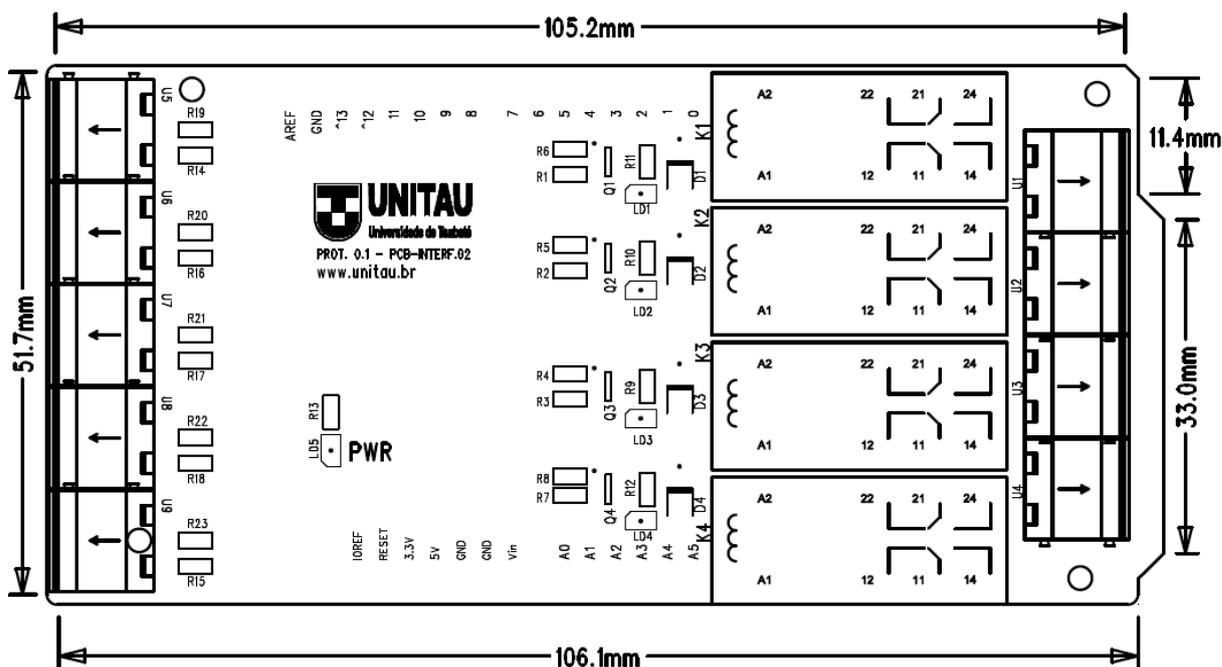
Fonte: (Ribeiro, 2017)

Os sensores que deverão ser conectados nessa placa são, o sensor de presença de pallet no setor de aplicação de fluxo, dois sensores para detectar o tamanho da placa e limitar a movimentação do pulverizador e um sensor de presença no setor de onda de solda. Uma entrada é reservada e não será utilizada neste momento.

Os sensores indutivos detectam a presença de um obstáculo ou objeto e informam a condição ao microcontrolador. A alimentação dos sensores será feita por fonte externa, já presente na máquina. Uma carga *pull-up* de referência foi montada para cada entrada do sensor no *shield*. Através destes *pull-ups*, os níveis lógicos serão definidos, respeitando os limites de tensão de entrada do Arduino.

Uma vez em operação, ao detectar a presença de um objeto, o sensor tipo NPN enviará sinal lógico 0V em sua saída, sinal que deverá ser analisado e processado pela aplicação no Arduino.

A Figura 16 mostra as dimensões da placa e conexões presentes no *shield 2*.



**Figura 16 – Shield 2 – 4 Saídas e 5 Entradas**

Fonte: (Ribeiro, 2017)

Para acessar o esquema elétrico completo dessa placa, veja o Anexo 2 no final deste documento.

#### 4. RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o desenvolvimento deste projeto, tivemos dificuldades em identificar o funcionamento de alguns itens da máquina. Como o equipamento está atualmente em operação, não foi possível interromper seu funcionamento para identificarmos como são acionados e controlados, neste caso, o ajuste de temperatura dos pré-aquecedores e das resistências do módulo de onda de solda. Também, por se tratar de uma máquina fabricada há mais de 20 anos, as documentações técnicas desses dispositivos não foram encontradas para auxiliar a elaboração deste documento.

Apesar das dificuldades encontradas, é importante destacar as oportunidades que tivemos para conhecer e entender o funcionamento de uma máquina industrial de grande importância na montagem de placas de circuitos eletrônicos, sem esquecer do conhecimento adquirido na plataforma Arduino e no desenvolvimento

dos *shields*, que formam o conjunto de dispositivos necessários para controlar a máquina.

Como sugestão de melhoria, antes de acionar a movimentação do transportador, é necessário garantir que a temperatura dos pré-aquecedores esteja correta e que a solda, do módulo de onda de solda, esteja no estado líquido para que não danifique o motor da bomba.

Outra sugestão seria desenvolver uma interface homem-máquina (IHM) com conexão de rede para integração com o sistema de gerenciamento industrial. Essa IHM, poderia permitir a configuração de perfis de temperaturas dos pré-aquecedores e da solda, para adequar às características de cada placa.

## 5. REFERÊNCIAS

ALENT. **Fluxo de Soldagem por Onda**. Disponível em: <<http://www.alent.com.br/alpha/boletins/EF-6100P.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2017.

ARDUINO. **Arduino UNO**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>. Acesso em: 21 abr. 2017

ARDUINO E CIA. **Arduino**. Disponível em: <<http://www.arduinoocia.com.br/2017/03/contador-com-sensor-indutivo-npn-e-arduino.html>>. Acesso em: 26 mai. 2017

ELETRODEX. **Borne**. Disponível em: <<http://www.eletrdex.com.br>>. Acesso em: 26 Mai. 2017

FESTO. **Valvula 5/2**. Disponível em: <[https://www.festo.com/cms/pt-br\\_br/14631\\_14669.htm#id\\_16118](https://www.festo.com/cms/pt-br_br/14631_14669.htm#id_16118)>. Acesso em: 07 abr. 2017.

**Fry's Metal Foundries**. Disponível em: <[http://www.gracesguide.co.uk/Frys\\_Metal\\_Foundries](http://www.gracesguide.co.uk/Frys_Metal_Foundries)>. Acesso em: 31 mar. 2017.

GLOBAL ELETONICS. **Linha de montagem PTH**. Disponível em: <[http://globalelectronics.ind.br/custom\\_type/linha-de-montagem-pt-h-pin-through-hole/](http://globalelectronics.ind.br/custom_type/linha-de-montagem-pt-h-pin-through-hole/)>. Acesso em: 01 abr. 2017.

HBAUTOMATION. **Titanium Finger Conveyor**. Disponível em: <<https://hbreflow.wordpress.com/2014/07/28/hisave-your-investment-on-lead-free-wave-soldering-machine-%EF%BC%81/>>. Acesso em: 02 abr. 2017.

ICOS. **Sensores de nível**. Disponível em: <<https://www.icos.com.br/sensor-de-nivel/montagem-lateral/LA22N-40/>>. Acesso em: 03 abr. 2017.

KLEIN AUTOMAÇÃO. **Válvula Solenoide**. Disponível em: <<http://www.kleinautomacao.com.br>>. Acesso em: 06 abr. 2017

LUQUETA, G. **Sensores**. Disponível em: <[http://gerson.luqueta.com.br/index\\_arquivos/SENSORES.PDF](http://gerson.luqueta.com.br/index_arquivos/SENSORES.PDF)>. Acesso em: 06 abr. 2017.

O GLOBO. **Máquinas industriais no Brasil**. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/economia/maquinas-industriais-no-brasil-sao-ate-3-vezes-mais-antigas-que-em-paises-ricos-10107142>>. Acesso em: 29 mar. 2017.

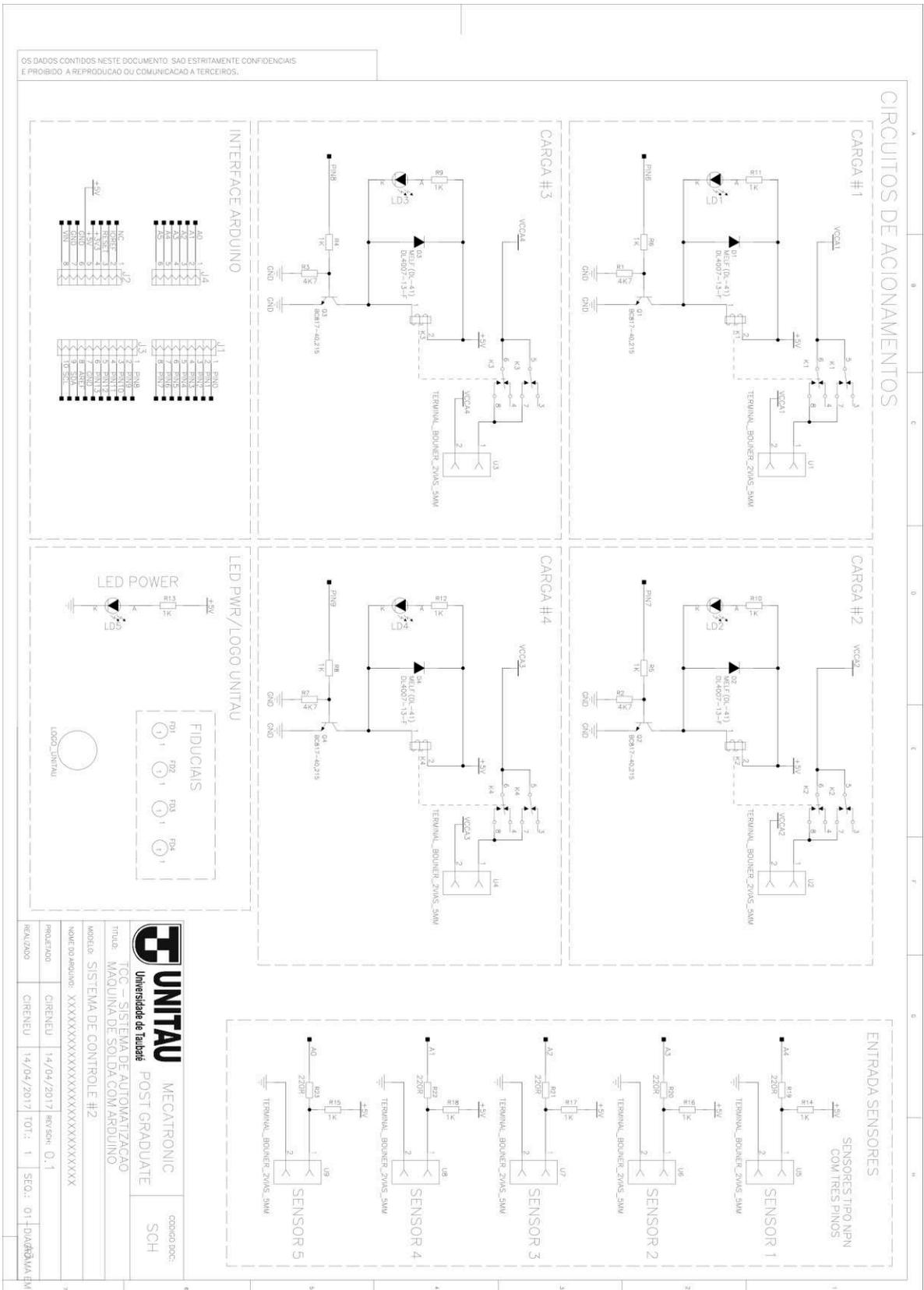
ROBOTIZANDO. **Shields**. Disponível em: <[http://www.robotizando.com.br/shields\\_index.php](http://www.robotizando.com.br/shields_index.php)>. Acesso em: 25 mai. 2017.

Solda SMD. **Curso de Soldagem**. Disponível em: <<http://www.solda-smd.com.br/>>. Acesso em: 01 abr. 2017.

TARR, M. **Wave Soldering**. Disponível em: <[http://www.mtarr.co.uk/courses/topics/0225\\_wave/](http://www.mtarr.co.uk/courses/topics/0225_wave/)>. Acesso em: 27 mar. 2017.



ANEXO 2



Fonte: (Ribeiro, 2017)