

# Monitoramento de cordão de Solda MIG/MAG

**Rafael santos miranda**  
**rafaelsantosmiranda1910@hotmail.com**  
**AEDB**

**Resumo:**Resumo:Com o crescimento da demanda de produção no setor automotivo, a necessidade de utilização de robô de solda MIG/MAG se faz necessário também. Com isso os estudos para os controles de processos de soldagem veem aumentando gradativamente. Uma das maiores dificuldades deste processo são os ajustes de parâmetros para obtenção de cordões de solda cada vez mais homogêneos e a diminuição de perdas de produção. A proposta deste projeto é apresentar os resultados de um desenvolvimento de simulações virtuais de um processo de soldagem circunferencial MIG/MAG para monitoramento das temperaturas atingidas na superfície do material a fim de evitar o efeito de perfuração de tubos e obter cordões de solda mais homogêneos. A partir de um modelo matemático para obtenção das temperaturas no processo de soldagem, desenvolvido por Amaury dos Santos na tese de Condução de Calor na soldagem com pulsação térmica em 2001 e também a partir do modelo computacional desenvolvido no trabalho de final de curso de engenharia mecânica no projeto Soldagem Circunferencial de tubos de Parede fina e diâmetro Pequeno, desenvolvido por mim em 2012, foi aplicado o modelo matemático desenvolvido anteriormente em C para aplicação em um PIC. Após a implementação do modelo virtual no PIC ,foi proposto o desenvolvimento de um protótipo físico para aplicações reais a partir da implementação do modelo matemático no PIC[1] conectado ao CLP[2] e um supervisor[3].

**Palavras Chave:** 1- PIC: Programmabi - 2- CLP: Controlador - 3- Supervisor- Eq - -

## 1. INTRODUÇÃO

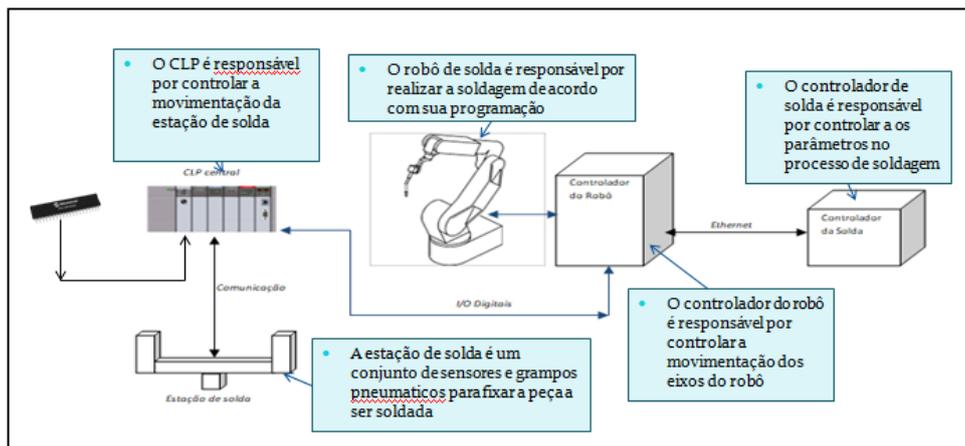
### 1.1 PROCESSO DE SOLDAGEM MIG/MAG POR ROBÔ DE SOLDA

Nas indústrias automotivas é comumente utilizada uma mesa ou estação de solda com o polo negativo aterrado nesta estação e o polo positivo no arame de solda, com esta configuração é obtido um processo de soldagem por curto-circuito.

Para o processo de soldagem de peças em série, são utilizados robôs com manipulador, acoplado em seu eixo de ataque uma tocha de solda e um alimentador de arame.

Normalmente as células ou ilhas de robôs de solda, possuem um CLP central que realiza o controle das estações ou mesas de solda. A comunicação mais comumente encontrada são DeviceNet, ControlNet ou CompoBus/S.

A solda também possui um controlador específico, de acordo com seu fabricante, a fim de controlar a tensão e corrente aplicada no processo de soldagem. O controlador de solda normalmente utiliza uma comunicação ethernet com o controlador do robô. Abaixo segue modelo esquemático para ilustrar a comunicação entre os três sistemas.



**Figura 1:** Modelo Esquemático de um processo de soldagem MIG/MAG Automatizado

**Fonte:** Monografia Monitoramento de cordão de Solda MIG/MAG, Rafael Santos Miranda, Pós-graduação Automação Industrial, AEDB

### 1.2 PROBLEMA NA SOLDAGEM CIRCUNFERENCIAL MIG/MAG

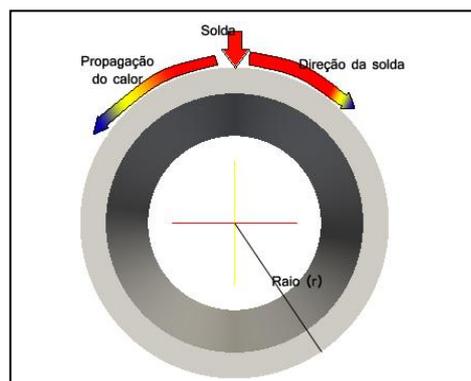
Inicialmente antes de se iniciar o processo de solda, neste projeto será considerada uma temperatura homogênea e livre de rugosidades ou outros tipos de imperfeições ao longo de toda superfície do tubo; por este motivo este modelo é aplicável a tubos de parede fina (Espessura menor que 6 mm).

Ao se iniciar o processo de solda, o contato entre a superfície da peça e o eletrodo gera uma temperatura inicial para que se possa atingir um arco de solda estável, a partir deste momento não é possível considerar a temperatura na peça homogênea, pois o calor ali gerado se dissipa nas direções transversais às superfícies da parede, aquecendo toda a borda do cilindro a ser soldado. Neste caso, a fonte de calor não é concentrada em um ponto sobre uma das superfícies, mas sim em um segmento de reta que atravessa a espessura da parede. Ao

decorrer do tempo a solda irá avançar em uma direção, portanto a cada intervalo de tempo que a tocha de solda avança, ela irá encontrar uma temperatura diferente para cada “ponto” na superfície do tubo e condições do material também diferentes, pois em temperaturas elevadas os grãos do metal tendem a aumentar, portanto se a temperatura da solda se manter constante, com uma velocidade de solda e potência constantes, será provocado um aumento de largura e consequentemente a perfuração a medida que a solda avança no tubo, ou escorrimento do metal fundido, produzindo nestes casos, soldas de má qualidade..

A perfuração ocorrerá quando o metal aquecido pelo arco atinja uma temperatura suficientemente elevada para diminuir a resistência local que neste caso não suporta a pressão interna no tubo. Assim para tentar evitar tal problema é necessário um controle desta temperatura para que não possa diminuir a resistência no local do material a ser soldado ou diminuir a pressão.

A figura 2 ilustra este problema de burnthrough, a medida que ao processo de solda avança no sentido horário ao longo da direção radial do tubo, o calor avança, ao mesmo tempo, para o sentido anti-horário na direção radial do tubo, não havendo tempo suficiente para que este calor se dissipe adequadamente, portanto a solda encontra uma região mais aquecida a cada instante que o robô avança, acarretando então uma penetração no tubo.



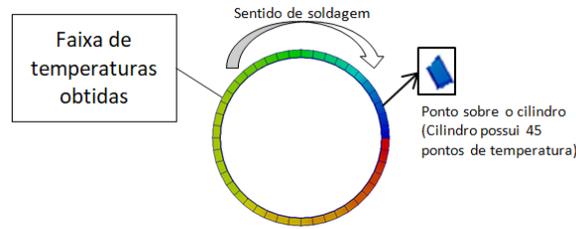
**Figura 2:** Modelo Esquemático do problema de Burnthrough

**Fonte:** Monografia Monitoramento de cordão de Solda MIG/MAG, Rafael Santos Miranda, Pós-graduação Automação Industrial, AEDB

## 2.MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto tem como objetivo a determinação das temperaturas atingidas sobre a superfície do cilindro conforme a fonte de calor avança sobre o cilindro durante o processo de soldagem. Uma vez que sabemos as temperaturas atingidas pelo processo de soldagem é possível a determinação e parametrização das variáveis do processo de solda afim de se evitar altas temperaturas que provoquem o escorrimento e perfuração do tubo durante o processo de soldagem. Para este projeto foi considerada uma fonte de calor com velocidade e alimentação de arame constante e somente com variação de corrente e tensão do processo aplicado.

O Artigo irá apresentar a equação utilizada para a modelagem computacional, a aplicação desta equação em um PIC18F4550 em conjunto ao um CLP e supervisorio. Também irá apresentar os resultados obtidos em 5 simulações virtuais e a aplicação deste estudo em um processo real de soldagem.



**Figura 3:** Modelo computacional de faixas de temperaturas sobre superfície de um cilindro; Modelo gerado no software Paraview

**Fonte:** Monografia Monitoramento de cordão de Solda MIG/MAG, Rafael Santos Miranda, Pós-graduação Automação Industrial, AEDB

### 2.1. EQUAÇÃO MODELADA

O projeto utiliza a Equação 1 do Projeto final do curso pós graduação em engenharia mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, Condução de Calor na soldagem com pulsação térmica, tese desenvolvida por Amaury dos Santos em 2001, para cálculo das temperaturas em um determinado ponto sobre a superfície do cilindro de parede fina.

$$T(x, \theta', t) - T_0 = \int_{t_0}^t \frac{q(\tau)}{\pi \cdot \rho \cdot c_p \cdot r_m \cdot H} \sqrt{\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \alpha \cdot (t - \tau)}} \cdot \exp \left[ -\frac{h_s(t - \tau)}{\rho \cdot c_p \cdot H} - \frac{x^2}{4 \cdot \alpha \cdot (t - \tau)} \right] \left\{ \frac{1}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \exp \left[ -\alpha \left( \frac{n}{r_m} \right)^2 \cdot (t - \tau) \right] \cos[n(\theta' + \Omega(t - \tau))] \right\} d\tau \quad (1)$$

**Fonte:** Projeto final do curso pós graduação em engenharia mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, Condução de Calor na soldagem com pulsação térmica, tese desenvolvida por Amaury dos Santos em 2001

Devido a Equação 1 não possuir um resultado analítico, pelo fato da impossibilidade do cálculo da integral por métodos convencionais, se faz necessário a aplicação de mudança de variável pela Quadratura de Gauss Legendre, Equação 2. A Equação 2 foi utilizada para a modelagem computacional em C e aplicada no PIC18F4550 deste projeto.

$$T(x, \theta', t) = \frac{(t - t_0)^{\frac{1}{2}}}{2} \sum_{i=0}^n \tau(Z_i) \left[ \frac{q \left( \frac{Z_i(t - t_0) + t + t_0}{2} \right)}{\pi \rho c_p r_m H} \sqrt{\frac{1}{4 \pi \alpha \left( t - \frac{Z_i(t - t_0) + t + t_0}{2} \right)}} \cdot \exp \left[ -\frac{h_s \left( t - \frac{Z_i(t - t_0) + t + t_0}{2} \right)}{\rho c_p H} - \frac{x^2}{4 \alpha \left( t - \frac{Z_i(t - t_0) + t + t_0}{2} \right)} \right] \left\{ \frac{1}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \exp \left[ -\alpha \left( \frac{n}{r_m} \right)^2 \cdot \left( t - \frac{Z_i(t - t_0) + t + t_0}{2} \right) \right] \cos \left[ n \cdot \left( \theta' + \Omega \left( t - \frac{Z_i(t - t_0) + t + t_0}{2} \right) \right) \right] \right\} \right] + T_0$$

$n = 11$

**Fonte:** Monografia Monitoramento de cordão de Solda MIG/MAG, Rafael Santos Miranda, Pós-graduação Automação Industrial, AEDB (2)

Logo, podemos montar uma tabela para quadratura de Gauss-Legendre, afim de se obter o resultado da aproximação da integral da equação 1.

**Tabela 1-** Cálculo pelo método de Quadratura de Gauss-Legendre

Paço 1	Paço 2	Paço 3	Paço 4	Paço 5	Paço 6
$i$	$Z_i$	$\tau(Z_i)$	$T(\tau(Z_i))$	$\tau(Z_i) T(\tau(Z_i))$	$\frac{t-t_0}{2} \cdot \sum \tau(Z_i) T(\tau(Z_i))$
Grau de interpolação (i=11)	Fator de Ponderação $\omega$	Equação 4	Equação 6	Equação 7 / $\frac{t-t_0}{2}$	Resultado da aproximação da Integral (Equação 2)

## 2.2. ALGORITMO DESENVOLVIDO E APLICAÇÃO AO PIC18F4550

Foi utilizado o PIC18F4550 pela sua alta capacidade de memória de processamento, devido o programa consumir uma elevada capacidade de memória do microcontrolador. O Algoritmo foi desenvolvido e compilado no programa MPLAB IDE V8.84. Foram considerados os valores das variáveis de especificação do processo a ser analisado, conforme imagem abaixo:

```

//ESPECIFICAÇÕES DO TUBO E PROCESSO DE SOLDAGEM-----
#define ro 7.85 //Massa especifica [g/mm³]
#define cp 32.8 //Calor especifico a pressão constante [J/ K.g]
#define rz 9.45 //Raio até a linha neutra da circunferencia do tubo [mm]
#define H 0.25 //Metade da espessura do tubo [mm]
#define alpha 81.0 //Difusividade térmica [mm²/s ]
#define k 40.0 //Condutividade térmica do material [W/mK]
#define L 10.0 //Comprimento do cilindro [ mm ]
#define omega 6.0 //Velocidade angular da tocha [rad/s]
#define R 8.7 //Raio externo do tubo [mm]
#define Ts1 293.0 //Temperatura na superfície do cilindro [Kelvin]
#define Ts2 292.0 //Temperatura interna do cilindro [Kelvin]
#define Tamb 311.0 //Temperatura ambiente [K]
#define hs 8990.0 //Coeficiente de transferencia de calor sa superficie [W/m².K]

//ESPECIFICAÇÕES DO PROCESSO DE SOLDAGEM-----
#define pt 45.0 //Numero de pontos analisados na superficie do cilindro
#define pontos 16 //Tabela da quadratura de gauss lagrange
#define tempo_s 1.0 //Tempo estimado de soldagem (min)
//-----
    
```

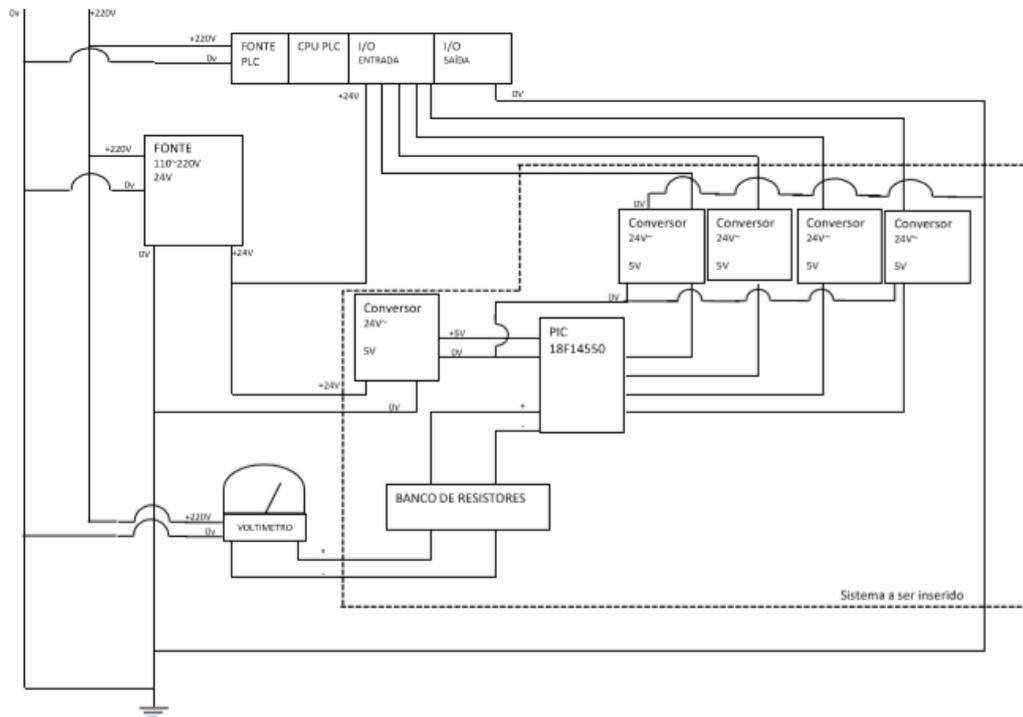
**Figura 4:** Variáveis consideradas para modelagem computacional no PIC18F4550

**Fonte:** Monografia Monitoramento de cordão de Solda MIG/MAG, Rafael Santos Miranda, Pós-graduação Automação Industrial, AEDB

Neste artigo não será apresentado o desenvolvimento do programa para o PIC18F4550, para mais informações, consultar a monografia para conclusão do curso de Pós-graduação em Automação Industrial, Monitoramento de cordão de Solda MIG/MAG, Rafael Santos Miranda, Pós-graduação Automação Industrial, AEDB.

## 2.3.COMUNICAÇÃO ENTRE PIC18F4550, CLP E SUPERVISÓRIO

Nesta seção irei apresentar uma proposta para comunicação entre o sistema do CLP com o PIC a ser implementado. Para a alimentação do PIC se faz necessário uma fonte de tensão de 5V, portanto será implementado um conversor de 24V para 5V. Este conversor é alimentado pela mesma tensão de 24V da fonte de alimentação do CLP.



**Figura 5:** Esquema elétrico de comunicação do PIC18F4550, CLP e Supervisório

**Fonte:** Monografia Monitoramento de cordão de Solda MIG/MAG, Rafael Santos Miranda, Pós-graduação Automação Industrial, AEDB

Devido o CLP receber um sinal de 24V, se faz necessária a aplicação de conversor de 5V para 24V nas saídas do PIC para o CLP.

Para o sinal analógico da tensão para entrada do PIC, será aplicado um banco de resistores para diminuir a tensão de aproximadamente 21V para 5V ou menor, pois a entrada do PIC suporta uma carga máxima de 5V, tensão acima de 5V pode causar danos ao PIC.

Pode-se verificar que foram utilizados um banco de conversores para cada saída do PIC para as entradas no cartão do CLP, entretanto também pode ser utilizado um Terminal I/O conectado a um único conversor para envio de sinais ao cartão de entrada do CLP.

A operação de monitoramento baseia-se no recebimento de um sinal analógico pelo PIC e envio de sinais digitais com respectivas faixas de leitura para o CLP. O PIC recebe como sinal analógico a variação de tensão, o mesmo realiza a conversão do valor no algoritmo implementado, de acordo com item 3.3 deste projeto, logo após alimenta uma das saídas do PIC (RB0 ~RB5), conseqüentemente o sinal passa pelo conversor de 5V para 24V onde o cartão de entrada do CLP recebe o respectivo sinal de saída do PIC, correspondente a faixa de temperatura empregada. Esta conversão pode ser verificada na tabela abaixo.

**Tabela 2** – Conversão tensão de entrada x saída do PIC para um processo real

Tensão de Entrada (V)	Conversão no PIC (°C)	Saída do PIC (digital)	Entrada do CLP (digital)
$T < 0$	293	RB0	I:0/6
$20 \geq T > 0$	299	RB1	I:0/7
$40 \geq T > 20$	305	RB2	I:0/8
$60 \geq T > 40$	311	RB3	I:0/9
$80 \geq T > 40$	317	RB4	I:0/10
$T > 80$	320	RB5	I:0/11

*T = Tensão (V); I= Entrada do cartão do CLP*

```

//Leitura da Entrada Analógica (Tensão)
SetChanADC(ADC_CH0);           //Seleciona o canal a ser lido
ConvertADC();                   //Inicia conversão
while (BusyADC());             //Aguarda terminar conversão
v = ReadADC();                  //Aguarda o resultado da conversão

if (v == 0)                     PORTB = 0b00000001; //Port B0
if (v > 0 && v <= 200)          PORTB = 0b00000011; //Port B1 1V=204,6
if (v > 200 && v <= 400)       PORTB = 0b00000111; //Port B2 2V=409,2
if (v > 400 && v <= 600)       PORTB = 0b00001111; //Port B3 3V=613,18
if (v > 600 && v <= 800)       PORTB = 0b00011111; //Port B4 4V=818,4
if (v > 800)                    PORTB = 0b00111111; //Port B5 5V=1023

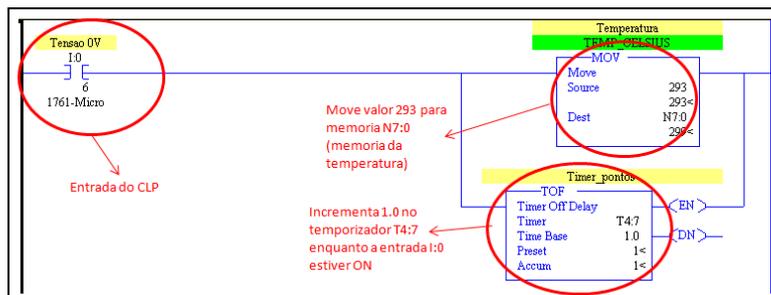
v c=(float)v/49.0;              //Conversor de analógico para digital
    
```

**Figura 6:** Função de conversão da tensão de 0~21V no PIC

**Fonte:** Monografia Monitoramento de cordão de Solda MIG/MAG, Rafael Santos Miranda, Pós-graduação Automação Industrial, AEDB

Para a realização do gráfico no supervisor para o usuário, o CLP recebe em sua entrada um sinal de saída do PIC, o qual é convertido de 5V para 24V, correspondente a uma faixa de temperatura.

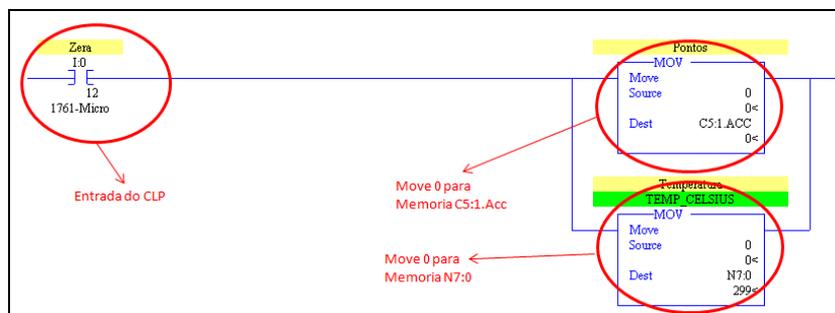
A memória utilizada para guardar os valores de temperatura no CLP é N7:0 e conforme uma entrada é ativada no CLP, o tempo de soldagem é acrescido, conforme o temporizador T4:7.



**Figura 7:** Programa criado do Logix para simulação – Temperatura 293°C

**Fonte:** Monografia Monitoramento de cordão de Solda MIG/MAG, Rafael Santos Miranda, Pós-graduação Automação Industrial, AEDB

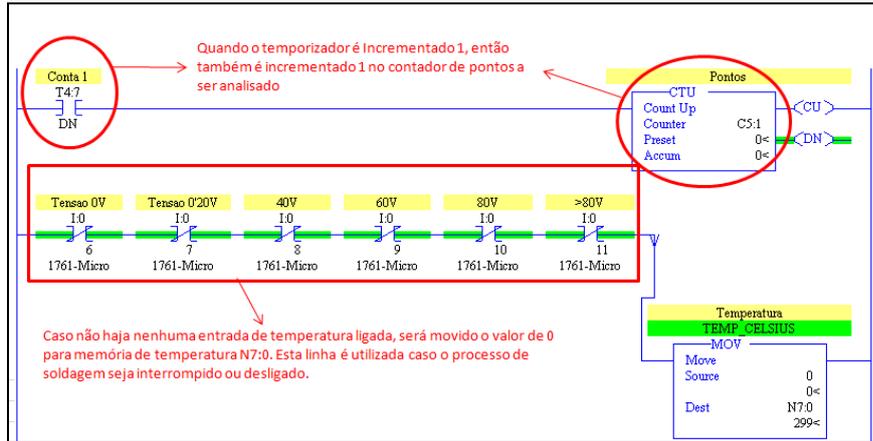
A Figura 8 apresenta o reset dos valores para início do processo de soldagem seguinte.



**Figura 8:** Programa criado do Logix para simulação – Reset dos valores de temperaturas

**Fonte:** Monografia Monitoramento de cordão de Solda MIG/MAG, Rafael Santos Miranda, Pós-graduação Automação Industrial, AEDB

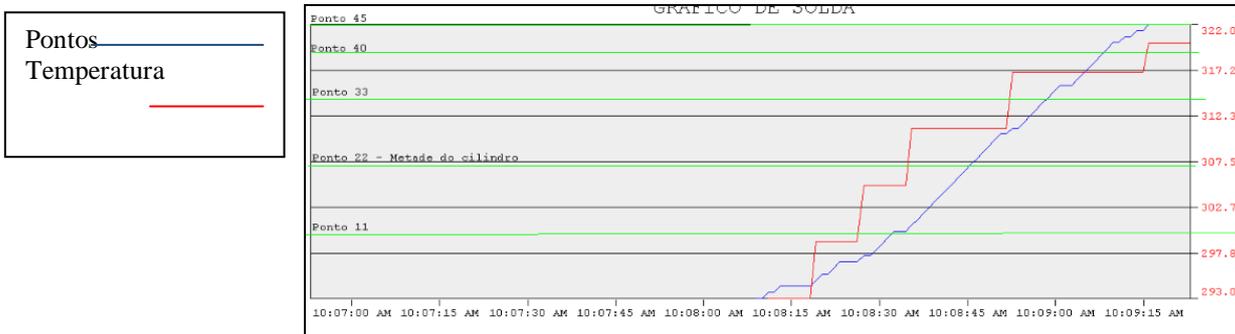
A Mesma lógica de programação é aplicada as temperaturas de 299°C, 305°C, 311°C, 317°C e 320°C.



**Figura 8:** Programa criado do Logix para simulação – Incremento do temporizador do processo de soldagem  
**Fonte:** Monografia Monitoramento de cordão de Solda MIG/MAG, Rafael Santos Miranda, Pós-graduação Automação Industrial, AEDB

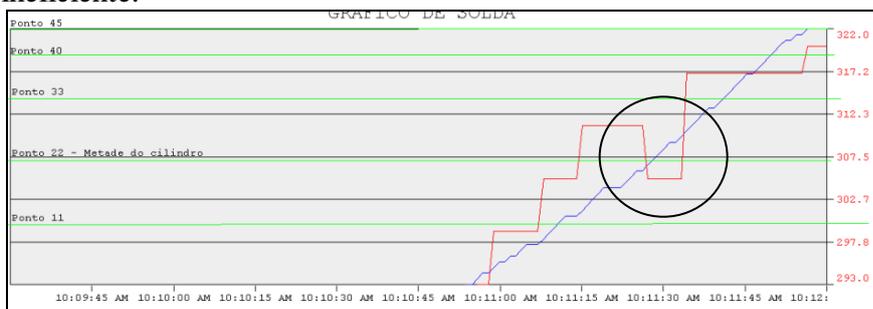
Conforme o ladder acima, o valor 293 é movido para memória criada para guardar os valores das temperaturas no CLP, então o supervisor recebe este valor e posteriormente é gerado o gráfico para o usuário.

Também é incrementado valor 1 no contador de pontos, a cada envio de uma tensão do PIC para o CLP, este contador é utilizado para o CLP identificar o número de pontos que o processo possui e finalizar a leitura dos pontos do gráfico. Como resultado final, o gráfico abaixo é apresentado ao usuário no supervisor.



**Figura 8:** Programa criado do Logix para simulação – Gráfico gerado pelo supervisor (45 pontos)  
**Fonte:** Monografia Monitoramento de cordão de Solda MIG/MAG, Rafael Santos Miranda, Pós-graduação Automação Industrial, AEDB

O gráfico da figura 8, demonstra o comportamento de um processo de soldagem ideal. Na figura 9, está representado o gráfico de temperaturas de um processo de soldagem considerado ineficiente.



**Figura 9:** Programa criado do Logix para simulação – Gráfico com processo ineficiente (45 pontos)  
**Fonte:** Monografia Monitoramento de cordão de Solda MIG/MAG, Rafael Santos Miranda, Pós-graduação Automação Industrial, AEDB

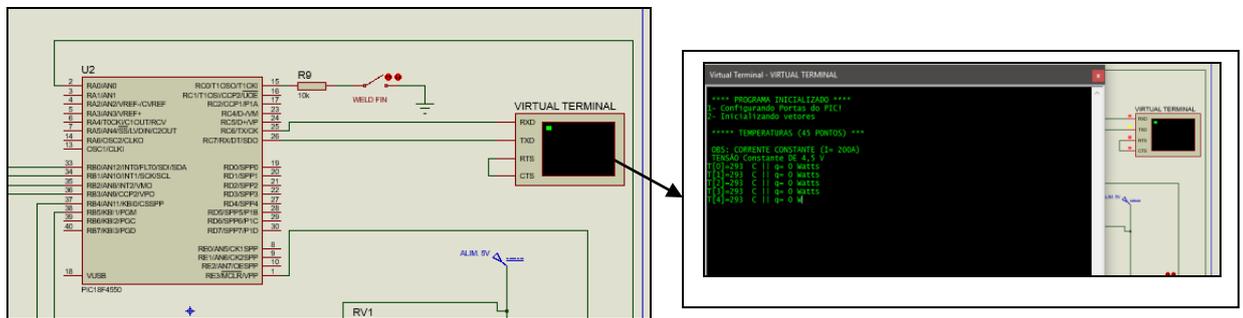
Conforme demarcado na figura 9 , houve uma queda de temperatura neste ponto, este problema ocasiona a falta de penetração no cordão de solda, podendo ocasionar ruptura da peça neste ponto.

### 2.4.SIMULAÇÕES VIRTUAIS E RESULTADOS OBTIDOS

O projeto irá apresentar os resultados de cinco simulações virtuais realizadas com a variação de tensão de soldagem de 0 a 21V, corrente e velocidade de soldagem constantes.

Os dados foram coletados e compilados no Excel para melhor detalhamento da tendência da curva de temperaturas gerada em cada simulação.

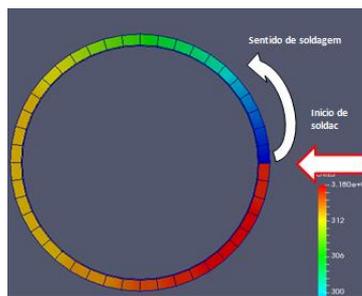
Para geração dos gráficos, foram realizadas simulações computacionais no Proteus V8.0 com exibição dos valores de temperaturas dos 45 pontos analisados , da direção radial do tubo modelado, no Terminal virtual configurado.



**Figura 10:** Simulações virtuais no Proteus V8.0

**Fonte:** Monografia Monitoramento de cordão de Solda MIG/MAG, Rafael Santos Miranda, Pós-graduação Automação Industrial, AEDB

Os dados foram coletados e computados no Excel para geração do gráfico. Para os modelos virtuais do comportamento de temperaturas no cilindro, foi o utilizado um software em C++ para geração do arquivo .vtk e modelado no software Paraview.



**Figura 11:** Modelo computacional do comportamento das temperaturas – Criado no Paraview

**Fonte:** Monografia Monitoramento de cordão de Solda MIG/MAG, Rafael Santos Miranda, Pós-graduação Automação Industrial, AEDB

O projeto tem como principal objetivo obter um gráfico onde a faixa de temperaturas ao longo de 45 pontos, não atinja temperaturas superiores a 315 °C e menores que 294 °C, parâmetros pré-definidos em um processo real para se garantir cordões de solda mais homogêneos e com uma boa penetração. Não será demonstrado neste projeto a obtenção destes dois limites de temperaturas.

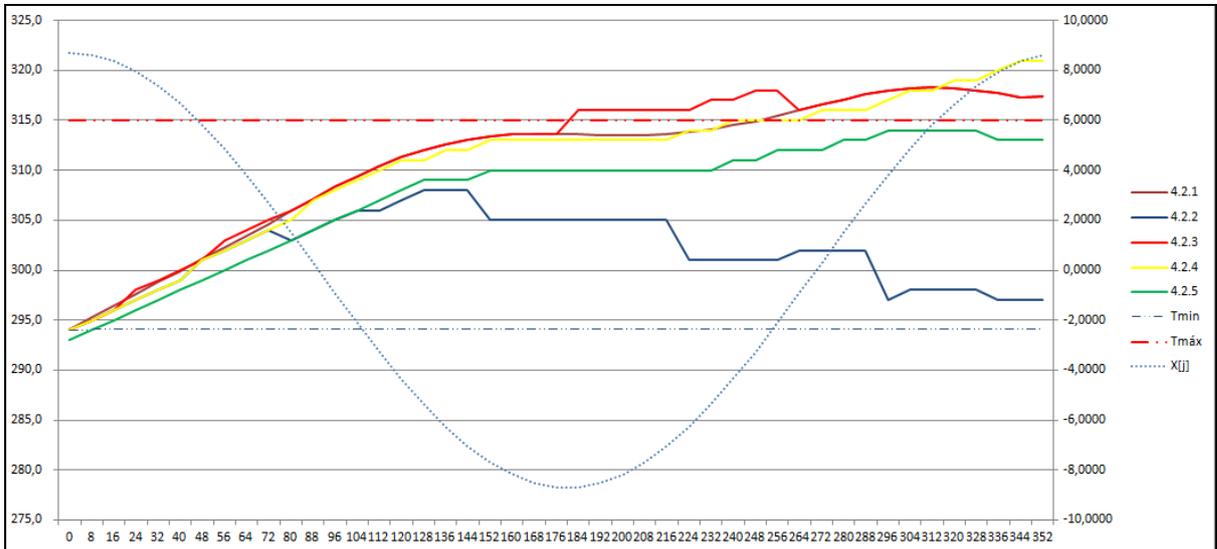
Foram realizados cinco simulações virtuais, conforme tabela abaixo.

**Tabela 3 – Condições das Simulações Virtuais**

Simulação	Condições de Tensão e Corrente
<b>4.2.1- Resultados com Potência constante de 4200W (V=100% e I= 100%)</b>	Para esta simulação foi utilizado potência constante de 4200W, corrente de 200 A e Tensão 21V.
<b>4.2.2- Resultados com Potência variando e tensão decrescente para um processo Real (I=100%)</b>	Para esta simulação foi utilizado inicialmente 100% da tensão do ponto 0 ~9 , logo após utilizado 80% para os pontos 10 ~18, em seguida 60% para os pontos 19 ~27, logo depois 40% para os pontos 28 ~36 e finalmente apenas 20% para os pontos de 37 ~44.
<b>4.2.3- Resultados com variação da Corrente para um Processo Real (V=100%)</b>	Para os pontos de 0 ~9 foram utilizadas correntes de 220A ; Para os pontos de 10 ~21 foram utilizadas correntes de 200A ; Para os pontos de 22 ~32 foram utilizadas correntes de 230A ; E finalmente para os pontos de 33 ~44 , utilizado corrente de 200A.
<b>4.2.4- Resultados com variação de Tensão para obtenção de um modelo ideal em processo Real</b>	<p>Neste modelo foi iniciada a solda com a tensão em 100% e depois foi ajustado ao decorrer da soldagem para que a temperatura não alcançasse à 315 °C (Temperatura considerada crítica para o processo).</p> <p>.Para os pontos de 0 ~30 foi utilizado tensão máxima de 100%;</p> <p>.Para os pontos de 31~33 foi utilizado tensão de 50%;</p> <p>.Para os pontos de 34~35 foi utilizado tensão de 25%;</p> <p>.Para os pontos de 36~37 foi utilizado tensão de 10%;</p> <p>.Para os pontos de 38~44 foi utilizado tensão de 2%;</p>
<b>4.2.5- Resultados com Tensão constante em 85% e corrente constante para um processo real (V=85% e I=100%)</b>	Tensão e Corrente constantes V=85% I=100%

Todos os dados para cada simulação estão no Anexo B da Monografia Monitoramento de cordão de Solda MIG/MAG, Rafael Santos Miranda, Pós-graduação Automação Industrial, AEDB.

Abaixo é apresentado um gráfico com todas as curvas obtidas nas cinco simulações apresentadas acima.



**Figura 12:** Resultados das cinco simulações realizadas

**Fonte:** Monografia Monitoramento de cordão de Solda MIG/MAG, Rafael Santos Miranda, Pós-graduação Automação Industrial, AEDB

Para uma comparação entre as cinco simulações foram inseridos no gráfico duas linhas paralelas com as tolerâncias de temperatura máxima e mínima de 315 °C e 294 °C, respectivamente.

Portanto somente duas simulações corresponderam às expectativas, a simulação 4.2.5 e 4.2.2, entretanto a simulação 4.2.2 apresenta maior quantidade de temperaturas próximas do limite inferior, o que não é ideal para um processo real, pois apresentaria cordões com pouca penetração.

O modelo ideal para o processo é o 4.2.5, pois possui uma grande faixa de temperaturas homogêneas e temperaturas mais elevadas, obtendo uma boa penetração no cordão de solda.

O modelo 4.2.3 também é interessante para uma análise do processo, pois conclui-se com a variação de corrente, o processo fica mais instável, atingindo temperaturas mais elevadas a partir de 50% do processo de soldagem do tubo.

Apesar da simulação 4.2.5 apresentar no início de seu processo temperaturas abaixo de 294 °C, este problema é facilmente corrigido em um processo real, criando-se um atraso no

início do processo de deslocamento da fonte de calor afim de superaquecer a região com baixa intensidade de potência, sendo assim alcançando a temperatura acima de 294 °C.

## 2.5. APLICAÇÃO EM PROCESSOS REAIS

A simulação 4.2.5 foi aplicada em um processo real de soldagem MIG/MAG em uma empresa de produção de peças automotivas.

Devido a dificuldade de realização de testes e custos de descarte de peças e ensaios destrutivos, não foi possível a realização de testes das demais simulações, somente aquela que apresentou resultado eficaz nas simulações virtuais.

O Processo de soldagem foi estabilizado com adoção de uma velocidade constante da fonte de calor, corrente constante e reduz do valor de tensão de 100% para 85% durante todo processo de soldagem.

Devido a informações sigilosas e confidencialidade, o nome da empresa e fotos de peças com condições ruins de soldagem, não poderão ser apresentados neste projeto. Abaixo é apresentado uma foto do cordão de solda homogêneo e com penetração de solda conforme , realizado por um robô de solda com as condições de tensão e corrente obtidas a partir de simulações deste processo de soldagem aplicado.



**Figura 13:** Foto de um cordão de solda homogêneo (Solda em ótimas condições)

**Fonte:** Monografia Monitoramento de cordão de Solda MIG/MAG, Rafael Santos Miranda, Pós-graduação Automação Industrial, AEDB

## 3.0. CONCLUSÃO

Pode-se concluir para este projeto sobre soldagem circunferencial MIG/MAG apresentado, a fim de se evitar a perfuração do tubo deve-se utilizar uma tensão constante de 85% sem variação da corrente do processo aplicado, utilizando corrente em 100%.

Com a utilização de 85% da tensão durante todo o processo, é possível obter temperaturas mais homogêneas durante toda a direção radial do tubo.

Neste projeto também pode ser verificado que a capacidade de memória do PIC é um problema encontrado durante o processamento das temperaturas. Enquanto em um modelo gerado em um computador Intel I5 com 4.0GHZ de memória obtêm-se 125756 pontos, com a utilização do PIC 18F4550 obtêm-se apenas 45 pontos, e o PIC18F452 apenas 30 pontos, dificultando a análise mais crítica do comportamento das temperaturas ao longo da superfície do tubo.

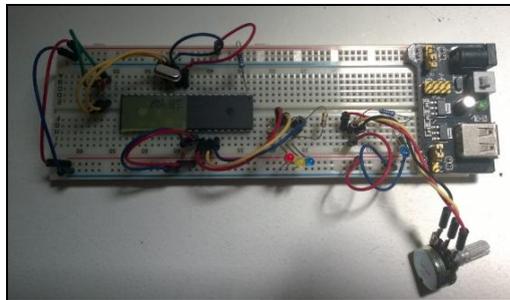
Diante deste problema, recomenda-se a utilização de PICs com maior capacidade de memória. Devido a este problema de memória, também foi utilizado a quadratura de Gauss Legendre de 11 pontos, ao invés de 80 pontos, ocasionando um maior erro no resultado da

solução da integral para determinação das temperaturas em cada ponto. O projeto também recomenda a aplicação do programa em C, programado diretamente no CLP, sem a utilização de um PIC para processamento, sendo assim seria possível alcançar maior capacidade de processamento de dados.

Para validação da fórmula utilizada para modelagem no PIC, foi realizado simulações virtuais no programa Proteus 8.0. Os resultados foram enviados ao um banco de dados no Excel e realizados os gráficos para análise. Na análise foram realizadas simulações com variação da tensão, corrente e com valores constantes.

Para validação do gráfico gerado pelo supervisor, foi utilizado simulação virtual com os programas RSLOGIX 500 e RSVIEW 32. O gráfico gerado foi apresentado no item 5 deste projeto.

O projeto atingiu seu objetivo e será utilizado como base para construção de um protótipo real e aplicação em um processo de soldagem real MIG / MAG. Atualmente o protótipo está sendo desenvolvido em uma placa protoboard, conforme imagem abaixo.



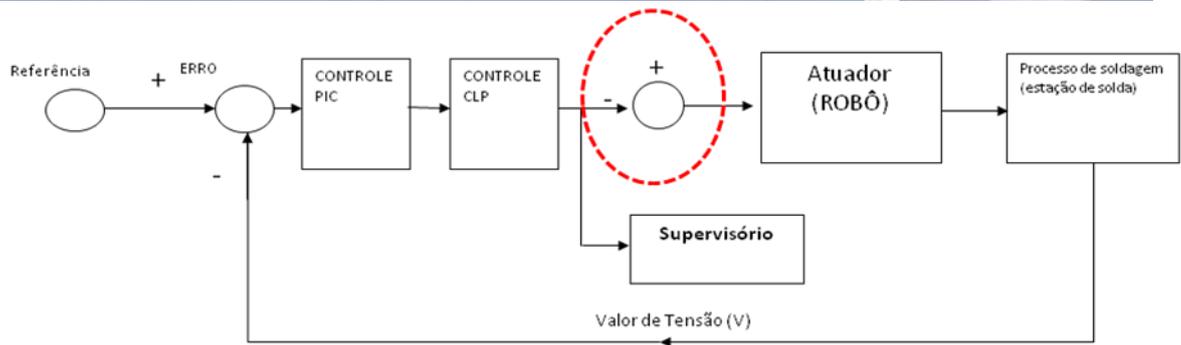
**Figura 14:** Protótipo em desenvolvimento

**Fonte:** Monografia Monitoramento de cordão de Solda MIG/MAG, Rafael Santos Miranda, Pós-graduação Automação Industrial, AEDB

O objetivo da aplicação do projeto é o desenvolvimento de uma ferramenta de qualidade de verificação do cordão de solda MIG/MAG e análise de processo de soldagem.

Com a geração de gráficos é possível observar e monitorar o comportamento de um cordão de solda e tomar tratativas de análise de causa de falhas e otimização de um processo aplicado. Com o desenvolvimento desta ferramenta, pode-se obter redução de tempo de parada de máquina, redução da taxa de refugo, redução de ensaios destrutivos, aumento de produtividade e desempenho da máquina.

Como proposta futura, este projeto será aplicado na integração do robô de solda MIG/MAG junto ao seu processo de soldagem, afim de se realizar uma correção automática dos parâmetros de soldagem, durante a realização do processo. Abaixo pode se observar a malha de controle proposta para realização desta implementação.



**Figura 14:** Malha de controle de correção de parâmetros de solda de maneira automatizada

**Fonte:** Monografia Monitoramento de cordão de Solda MIG/MAG, Rafael Santos Miranda, Pós-graduação Automação Industrial, AEDB

Por fim, este projeto utilizou como base um equação para determinação da temperatura final obtida em um respectivo ponto em um processo de soldagem MIG/MAG para tubos de parede fina em um processo de soldagem circunferencial. O projeto propõe a mesma aplicação utilizando equações para soldas lineares, as quais são mais usuais no processo de soldagem de peças automotivas.

#### 4.0.REFERÊNCIAS

Luciano Amaury dos Santos ; **Condução de Calor na soldagem com pulsação térmica** – Monografia do curso de Engenharia Mecânica do curso de doutorado da Universidade de Federal de Santa Catarina – Florianópolis, 2001.

Ana Maria Guzmán Palcíos; **Uso de técnicas de termografia para detecção de discontinuidades no processo GTAW através do monitoramento da poça de fusão** – Dissertação de Mestrado em sistemas Mecatrônicos do curso de Mestrado da Universidade de Brasília – Publicação ENM.DM – 33A / 10 – Brasília, Maio de 2010.

Rafael Santos Miranda ; **Soldagem circunferencial de tubos de parede fina e diâmetro pequeno** – 2012 . Monografia do curso de Engenharia Mecânica do Instituto politênico de Nova-Friburgo da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - 2012.

Régis Henrique Gonçalves e Silva, Jair Carlos Dutra, Raul Gohr Jr. ; **Fundamentos científicos e tecnológicos para o desenvolvimento do Processo MIG/MAG por curto circuito Controlado (CCC)** – Universidade Federal de Santa Catarina , Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Soldagem, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, Regis@labsolda.ufsc.br

Y-M ZHANG, University of Kentucky, USA - **An analysis of welding process monitoring and control**



**Disponível em:** [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=eZCkAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=weld+process+monitoring&ots=XV48OgBzON&sig=7rtXC4lhunV7w7nWVTB9Z3BY1Zg&redir\\_esc=y#v=onepage&q=temperature&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=eZCkAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=weld+process+monitoring&ots=XV48OgBzON&sig=7rtXC4lhunV7w7nWVTB9Z3BY1Zg&redir_esc=y#v=onepage&q=temperature&f=false)

Tzyh-Jong Tarn, Shan-Ben Chen & Xiao-Qi chen - **Robotic, Welding, Intelligence and Automation RWIA'2014 - Advances in Intelligent Systems and Computing 363**

**Disponível em:**

[https://books.google.com.br/books?id=1T8wCgAAQBAJ&pg=PA357&dq=weld+process+monitoring+temperature&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwiN58b3mb\\_XAhVliJAKHU73BAYQ6AEIPTAD#v=onepage&q=weld%20process%20monitoring%20temperature&f=false](https://books.google.com.br/books?id=1T8wCgAAQBAJ&pg=PA357&dq=weld+process+monitoring+temperature&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwiN58b3mb_XAhVliJAKHU73BAYQ6AEIPTAD#v=onepage&q=weld%20process%20monitoring%20temperature&f=false)

C S Wu, Q X Hu, J S Sun, T Polte and D Rehfeldt - **Intelligent monitoring and recognition of the short-circuiting gas—metal arc welding process – 1<sup>o</sup>**

Setembro de 2014

**Disponível em:** <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1243/0954405041897121>

EDWARD L. Copper - **Arc welding monitoring system - US 6242711 B1 – 5 de Junho de 2001 –**

**Disponível em:**

<https://docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US6242711.pdf>