

## Controle de Qualidade nos Parâmetros de Soldagem TIG (GTAW) na Fabricação de Peças em Aço Inoxidável

Leonardo Nascimento de Campos (UTFPR) [leonardo.013campos@gmail.com](mailto:leonardo.013campos@gmail.com)

Yslene Rocha Kacha (UTFPR) [yslener@utfpr.edu.br](mailto:yslener@utfpr.edu.br)

Roger Navarro Verástegui (UTFPR) [rogerverastegui@utfpr.edu.br](mailto:rogerverastegui@utfpr.edu.br)

### Resumo:

O presente trabalho tem como foco analisar a qualidade de soldagem em uma empresa metalúrgica, focalizando no processo de soldagem TIG (GTAW), com parâmetros de soldagem partindo do conhecimento tácito do soldador e realizar uma comparação com a literatura. Com o intuito de verificar se o processo está controlado por meio da utilização da ferramenta gráfico de controle. Assim, analisou-se primeiramente o processo de soldagem que não apresentou o controle estatístico ideal, depois foi realizado o mesmo processo seguindo os parâmetros mencionados na literatura no controle de especificação e no controle do processo comprovando que o processo de soldagem está fora do ideal pela ferramenta do controle estatístico do processos. Observou-se os defeitos gerados conforme houve a mudança dos parâmetros das peças soldadas utilizando-se do material aço inoxidável e suas especificações do projeto.

**Palavras chave:** Soldagem TIG (GTAW), Aço inoxidável, Qualidade, Parâmetros de Processo.

## Quality Control in TIG Welding Parameters (GTAW) in the Manufacture of Stainless Steel Parts

### Abstract

The present work focuses on the welding quality in a metallurgical company, focusing on the TIG (GTAW) welding process with welding parameters based on the tacit knowledge of the welder and to make a comparison with the literature. In order to verify if the process is controlled through the use of the graphical control tool. Analyzing the welding process that didn't present the ideal statistical control, following the parameters mentioned in the literature, both in the control of specification and in the process control, so the process is out of statistical control, observe the defects generated as the welded parts using stainless steel material and its design specifications.

**Key-words:** Welding TIG (GTAW), Stainless Steel, Quality, Process Parameters.

### 1. Introdução

O setor metalúrgico vem sendo amplamente estudado para otimização de processo, apesar de possuir dois segmentos, sendo o processo seriado e também o processo personalizado que atua na confecção de peças de baixo volume e algumas vezes de grandes escalas. Assim, o controle para este tipo de processo se torna um grande desafio atualmente nas empresas não seriadas.

A variação elevada na produção de peças diferentes exige que o controle do produto seja realizado constantemente, visto que todo processo se adapta com que é solicitado, seja o material, o processo de corte, dobras, especialmente a soldagem das peças, qual equipamento utilizado, os parâmetros de processo, características específicas do material que as vezes exige mais cuidado que outras. Para isso o controle de qualidade atrelado diretamente no processo, facilita a realização deste processo com parâmetros de qualidade, podendo adaptar-se mais rapidamente sem que haja grandes problemas futuros, sendo assim o foco qualidade no processo auxilia na diminuição ou até mesmo na eliminação dos problemas de processo.

A soldagem devido sua grande praticidade na união de peças que proporciona além das boas propriedades mecânicas de resistência e boa aparência, a facilidade para confecção de peças complexas, torna-se muito bem vista atualmente. Apesar de existir vários tipos de soldagem o foco será direcionado para soldagem TIG (Tungstênio Inerte Gás), muito usada para soldagem de peças em aço inoxidável, alumínio, níquel e suas ligas, magnésio suas ligas e dentre outros materiais. O controle para o processo TIG se tornou atrativo para o estudo, visto que a produção que utiliza da soldagem vem ganhando espaço nos últimos tempos com o aumento na produção de peças em aço inoxidável, tanto para o setor de alimentos quanto para o setor de design de carros e casas (QUITES, 2002).

Para se obter o produto com o nível de qualidade elevado a soldagem afeta diretamente o produto final, pode ser gerado defeitos e irregularidades nas peças, muitos deles visíveis e assim deixando o produto final com má qualidade. Com isso, o controle dos parâmetros de soldagem se torna essencial para obter-se a soldagem de qualidade e conseqüentemente garantir a mesma qualidade do produto final. O estudo apresenta o objetivo de utilizar a ferramenta da qualidade carta de controle para verificação dos parâmetros do processo de soldagem de acordo com a literatura e averiguar qual a influência dos mesmos na qualidade final do produto.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1 Soldagem ao arco elétrico pelo processo TIG (GTAW)

O processo soldagem Tungstênio Inerte Gás é muito conhecida por TIG, trata-se de soldagem a arco elétrico, utilizando-se de um eletrodo consumível de tungstênio ou liga de tungstênio, formando uma poça de fusão localizada, unindo os materiais (metal base). A proteção contra a ação da atmosfera durante o processo de soldagem é feita com auxílio do gás protetor inerte, dentre os mais usados é o argônio, pois elimina a possibilidade de qualquer tipo de oxidação (BRACARENSE, 2000; QUITES, 2002).

A soldagem TIG é ideal para soldagem de ligas não ferrosas, tais como alumínio e suas ligas, ligas de magnésio, ferros fundidos e ligas de níquel. Proporciona soldagem sem escórias, ótimo acabamento e aparência, outras vantagens a destacar é a zona termicamente afetada (ZTA) amenizada pelo calor concentrado e também reduzir distorções. Produz soldas de alta qualidade, podendo ser executada em qualquer posição. O processo pode ser realizado manualmente e necessita de maior treinamento e habilidade do soldador ou pode ser totalmente automatizado (BRACARENSE, 2000).

As principais variáveis do processo são: a tensão do arco elétrico, a corrente de soldagem, velocidade de avanço e o gás de proteção, há uma forte interação entre essas variáveis de modo que afeta diretamente no processo de soldagem, na mudança da poça de fusão como largura e penetração, que pode gerar alguns defeitos tais como: porosidade, falta ou excesso de fusão, inclusões de tungstênio ou sujeira, mordeduras, dentre outros. (BRACARENSE, 2000).

Segundo Qites (2002) os parâmetros recomendados para se produzir a soldagem TIG com boa qualidade em aço inoxidável, consta na tabela 1, demonstrando alguns dos principais valores de corrente, velocidade de soldagem, pressão do gás, que variam conforme a espessura do material utilizado na soldagem e o tipo de junta.

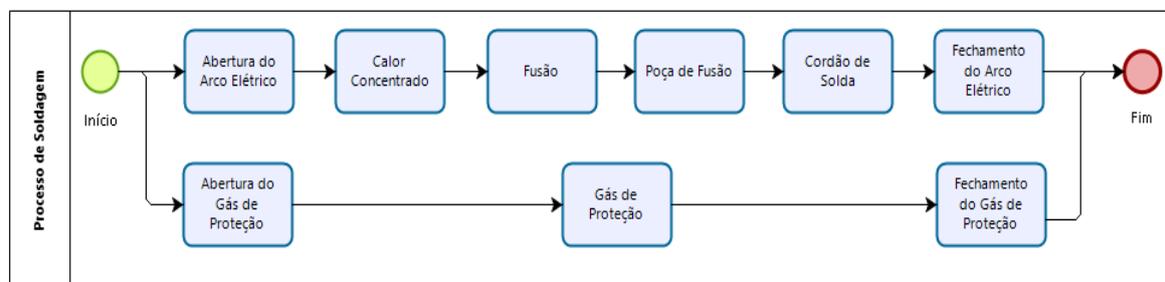
Esp. [mm]	Tipo de Junta	Faixas de corrente, conforme a posição de soldagem			Diâm. Eletrodo [mm] <sup>1</sup>	Veloc. Sold. [cm/min] <sup>2</sup>	Vareta metal de adição [mm] <sup>3</sup>	Vazão de gás [l/min]
		Plana	Vertical	Sobre-cabeça				
1,6 mm	De topo	80-100	70-90	70-90	1,6	30	1,6	5,0
	Sobreposta	100-120	80-100	80-100	1,6	25	1,6	5,0
	De quina	80-100	70-90	70-90	1,6	30	1,6	5,0
	Em ângulo	90-110	80-100	80-100	1,6	25	1,6	5,0

Fonte: Adaptado de QUITES (2002).

Tabela 1 – Parâmetros de soldagem TIG para os aços inoxidáveis.

Para o presente trabalho os parâmetros relevantes determinados no projeto do produto é a espessura do material de 1,6 mm; o tipo de junta sendo em ângulo de 90°; a posição de soldagem sendo na plana; diâmetro do eletrodo de 1,6 mm; velocidade de 25 (cm/min); a vareta de adição de 1,6mm e vazão do gás de 5,0 (l/min) (QUITES, 2002).

A figura 1 mostra o fluxograma do processo de soldagem a partir da abertura do arco elétrico até o fechamento do arco.



Fonte: O Autor.

Figura 1 – Fluxograma do processo de soldagem.

O processo inicia-se com a “abertura do arco elétrico” juntamente com o “gás de proteção” (argônio ou hélio) para a soldagem da peça, posteriormente o “calor gerado é concentrado” em um ponto específico para a “fusão” localizada, formando a “poça de fusão”, por seguinte é unido o material com a poça de fusão ao longo da peça, formando o “cordão de solda”, ao concluir o processo, o arco elétrico é fechado juntamente com o gás de proteção e assim finalizando o processo de soldagem (QUITES, 2002).

## 2.2 Controle da qualidade na soldagem

A qualidade no processo de soldagem está diretamente atrelada ao operador, quando o processo é realizado manualmente. Com base em critérios visuais e ensaios específicos realizados em laboratório, é julgado se há ou não necessidade de mudanças dos parâmetros, materiais de consumo ou gás de proteção no processo de soldagem com vistas a qualidade deste mesmo.

As pessoas qualificadas para realizar o processo de soldagem podem ser, o Inspetor de Solda de diferentes níveis, o operador e o soldador. De acordo com Coelho e Junior (2015) e Nascimento e Silva (2010), o procedimento para avaliar o processo de soldagem de modo geral tem três etapas:

- a) Controle antes da soldagem: dentre os principais aspectos estão a qualificação dos soldadores e o processo de soldagem; identificar o material do metal base (material que será realizado a soldagem) e do consumível (material de adição durante a soldagem); preparação da junta, qual é mais adequada conforme a situação, as principais juntas são do tipo sobrepostas, em ângulo, canto e topo; condições de trabalho tais como meio-ambiente, local e posição da soldagem; verificação dos equipamentos de soldagem e componentes auxiliares e a calibração dos equipamentos e instrumentos;
- b) Durante a soldagem: análise dos materiais a ser soldados como espessuras, posição dos componentes, ou seja, controle da montagem e ajustes das peças; controle das distorções com o controle da temperatura de pré-aquecimento e entre passes; manuseio e controle dos consumíveis durante a soldagem; limpeza entre passes e limpeza final da junta e por fim inspeção visual;
- c) Controle após a soldagem: avaliação das características da soldagem com auxílio de desenhos e especificações de projetos; limpeza da solda, com agentes químicos ou lixadeiras de acabamentos; realização de ensaio não destrutivo, mas se for possível com uma amostra realizar o ensaio destrutivo; controle de reparos após acabamentos e tratamento térmico se necessário; por fim a documentação das atividades de fabricação e inspeção final.

Para se realizar a soldagem de qualidade e manter os parâmetros corretos deve-se atentar-se aos componentes e demais fatores que afetam a qualidade da soldagem e a execução sendo, eletrodo, materiais consumíveis, resíduos superficiais na peça, resfriamento da soldagem. E para este controle pode-se designar um inspetor de qualidade ou até mesmos inspetores de soldagem (COELHO; JUNIOR, 2015).

### 2.3 Controle Estatístico do Processo (CEP)

O controle estatístico do processo é um sistema de inspeção por amostragem, que opera ao longo do processo, com o objetivo de verificar a presença de causas especiais, ou seja, causas que não são naturais do processo e que podem prejudicar a qualidade do produto final. Uma vez identificadas as causas especiais, pode-se atuar sobre elas, melhorando os processos de produção e a qualidade do produto final. Este possibilita o monitoramento das características de interesse, assegurando que elas se manterão dentro de limites pré-estabelecidos e também indicando quando devem ser tomadas ações de correção e melhoria. É importante ressaltar a importância de se detectar os defeitos o mais cedo possível, para evitar prejuízos a adição de matéria-prima e mão-de-obra a um produto defeituoso (CAMARGO; FERREIRA; PORCIÚNCULA, 2017; RIBEIRO; CATEN, 2012).

Para Rodrigues (2010) a carta de controle é uma forma de explicitar o CEP. Nas palavras de Werkema (1995) “os gráficos (cartas) de controle são ferramentas para o monitoramento da variabilidade e para a avaliação da estabilidade de um processo.” O gráfico de controle serve para garantir que o processo opere nas melhores condições. A variação nos produtos é inevitável, mediante as alterações nos fatores que compõem o processo, caracterizados por máquinas, condições ambientais, matérias-primas, fornecedores (CARPINETTI, 2012; NASCIMENTO; SILVA, 2010; SILVA; FLORES, 2011).

Segundo Galuch (2002) e Rebelato et al., (2006) as cartas de controles são divididas em dois modelos: gráficos por atributos, são gráficos para controles de números e proporções, que exigem classificação de avaliação como boa ou má. E também há os gráficos por variáveis, que refere-se a aspectos tais como, peso, comprimento, densidade, concentração, são gráficos mais preferidos pois facilitam a identificação das causas que afetam a estabilidade do processo.

Os gráficos de controle por variáveis apresenta algumas formas para representação dados obtidos, que são eles: *Gráfico de  $\bar{X}$  e R (média e amplitude)*, são registradas as médias amostrais e variabilidade do processo pela amplitude.; *Gráfico de  $\bar{X}$  e s (média e desvio-padrão)*, são registradas as médias amostrais e a variabilidade pelo desvio-padrão.; *Gráfico de  $\bar{X}_{med}$  e R (mediana e amplitude)*, são registradas as medianas e a variabilidade pela amplitude, não é recomendado pois a mediana é um estimador mais fraco que a média.; *Gráfico de  $X_i$  e R (valor individual e amplitude)*, são registrados os valores individuais das medições e a variabilidade pela amplitude, usado em casos especiais de baixa produção ou pouca variabilidade. As fórmulas para os cálculos dos limites de especificação dos gráficos de controle por variáveis, são apresentados na tabela 2. Os valores de  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $B_3$ ,  $B_4$ ,  $D_3$  e  $D_4$  são tabelados e dependentes do número de elementos no subgrupo racional (REBELATO et al, 2006; ROSARIO et. Al.2015).

Tipo de Gráfico	Limites de Controle	
	Gráfico	Fórmulas
$\bar{X}$ e R	Média	LSC = $\bar{X} + (A_2 * \bar{R})$ LIC = $\bar{X} - (A_2 * \bar{R})$
	Amplitude	LSC = $D_4 * \bar{R}$ LIC = $D_3 * \bar{R}$
$\bar{X}$ e s	Média	LSC = $\bar{X} + (A_3 * \bar{s})$ LIC = $\bar{X} - (A_3 * \bar{s})$
	Desvio-padrão	LSC = $B_4 * \bar{s}$ LIC = $B_3 * \bar{s}$
$\bar{X}_{med}$ e R	Mediana	LSC = $\bar{X}_{med} + (A_2 * \bar{R})$ LIC = $\bar{X}_{med} - (A_2 * \bar{R})$
	Amplitude	LSC = $D_4 * \bar{R}$ LIC = $D_3 * \bar{R}$
$\bar{X}_i$ e R	Valor individual	LSC = $X + (2,66 * \bar{R})$ LIC = $X - (2,66 * \bar{R})$
	Amplitude	LSC = $3,267 * \bar{R}$ LIC = 0

Fonte: Rebelato et. Al. (2006).

Tabela 2 – Tipos de gráficos e fórmulas para calcular os limites de especificação.

A importância da utilização das cartas de controle na garantia da qualidade do processo de soldagem, é devido a padronização dos parâmetros de soldagem conforme as especificações do projeto do produto tais como: de espessura, posição de soldagem, velocidade de soldagem, o material utilizado e dentre outras variáveis, afim de amenizar os defeitos causados nas peças soldadas. As cartas de controle indicam quais parâmetros estão fora das especificações e assim facilitando a identificação e atuação direto na possível causa (COELHO; JUNIOR, 2015).

### 3. Procedimentos metodológicos

A pesquisa apresenta caráter quantitativa, Martins (2012) menciona que o ato de mensurar variáveis da pesquisa é uma característica marcante da abordagem quantitativa, e também de abordagem exploratória, que a finalidade é explorar o tema de pesquisa e prover informações

para a fase quantitativa, por fim utilizando-se da metodologia do estudo de caso, que segundo Miguel *et al* (2012) é um estudo de caráter empírico que investiga um fenômeno atual no contexto da vida real. Ela se caracteriza como um estudo de caso que foi realizado em uma empresa do ramo metalúrgico situada na região Sul do Brasil, apresentando o foco nas áreas e setores de manutenção e reparos em empresas do ramo alimentícios, fabricação personalizadas de corrimãos, mesas, armários em aço inoxidável, estruturas metálicas, mezaninos e dentre outros serviços especializados.

O estudo obteve como foco avaliar a variação dos parâmetros do processo de soldagem (corrente e velocidade de soldagem) de peças aço inoxidável AISI 304, comparando os parâmetros de processo a partir de dois soldadores diferentes ambos seguindo o projeto definido com as especificações de espessura, comprimento das peças, posição de soldagem (em ângulo), a localização das soldagem e tamanho dos cordões. Para o estudo utilizou-se de um aço inoxidável AISI 304, amplamente utilizado em utensílios domésticos (garfos, facas, colheres, panelas, etc.), bem como no ramo industrial nas áreas alimentícias, aeronáuticas, construção civil, hospitalar e demais áreas, onde que suas propriedades são muito bem aplicadas por conta da higienização, sua alta resistência à corrosão, estética, de fácil limpeza, durabilidade e dentre outras características (CARBÓ, 2008).

Primeiramente para análise de controle estatístico do processo calculou-se o tamanho da amostra que seria necessário, com auxílio da fórmula 1. O total de amostra disponível é de 24 peças, então tem-se  $N=24$  (população amostral).

$$n = \frac{p(1-p)Z^2N}{\varepsilon^2(N-1) + Z^2p(1-p)} \quad (1)$$

Sendo:

$n$ = tamanho da amostra;

$p$ = proporção esperada;

$Z$ = Valor da distribuição normal para determinado nível de confiança (Tabela 3);

$N$ = tamanho da população

$\varepsilon$  = tamanho do intervalo de confiança (margem de erro).

Para determinação da proporção esperada segundo Agronik e Hirakata (2011), quando não há informação sobre a proporção de interesse, uma das formas de solucionar este problema é supor que ela seja de 0,50. Para a determinação do valor de  $Z$  (nível de confiança) é utilizado dentre os valores tabelados conforme a tabela 3.

	Nível de confiança (%)		
	90	95	99
Z	1,645	1,96	2,575

Fonte: Agronik et. Al. (2011).

Tabela 3 – Valores da distribuição normal ( $z$ ) de acordo com os níveis de confiança mais utilizados.

Utilizou-se do nível de confiança de 95%, com  $Z$  no valor de 1,96 para o cálculo na fórmula (1) (AGRONONIK; HIRAKATA, 2011). No caso do  $\varepsilon$  é o erro de estimativa em pontos percentuais, considerando 5 pontos percentuais (0,05) para tamanho do intervalo de confiança (margem de erro) (AGRONONIK; HIRAKATA, 2011).

Substituindo os valores temos:

$$n = \frac{0,5 * (1 - 0,5) * 1,96^2 * 24}{0,05^2 * (24 - 1) + 1,96^2 * 0,5 * (1 - 0,5)} \quad (2)$$

$$n = 22,64 \quad (3)$$

Obteve-se como resultado  $n = 22,64$ , o valor sempre é arredondado para cima, ou seja, obtêm-se o total de 23 amostras para validação dos testes. Utilizou-se de 23 amostras da população amostral de 24 peças fabricadas para realizar as tratativas e as considerações para avaliação da qualidade do processo de soldagem. São peças de reposição em forma de T para uma esteira transportadora de iogurtes em aço inoxidável 304 e a soldagem realiza em ângulo  $90^\circ$  em relação ao metal base e no centro do mesmo (especificações de projetos), conforme a figura 2.



Fonte: O Autor.

Figura 2 – Modelo da peça a ser soldada.

O objetivo é acompanhar a variação dos parâmetros em função das características específicas sendo o material, espessura e a posição de montagem da peça. Outro aspecto de avaliação é qual a faixa ideal de operação e o quanto o processo variou nessas faixas de especificação.

O material de fabricação utilizado para pesquisa foi o aço inoxidável AISI 304 nas espessuras de 1,6 milímetros ambos componentes da montagem, a soldagem foi delimitada por uma faixa de aproximadamente de 40 milímetros soldado em ambos lados de forma alternada conforme a figura 3.



Fonte: O Autor

Figura 3 – Posicionamento dos cordões de soldagem.

Os posicionamentos das soldas foram definidos conforme as especificações do projeto, tendo em vista para atender os critérios de resistência e estética do produto final. Para avaliação das

soldagens de cada peça, criou-se uma lista para identificação dos prováveis defeitos encontrado nas soldagens, tais como: elevada fusão (amperagem elevada), mordeduras; crateras do lado oposto da solda e falta de fusão ou ausência de união, que foram identificadas em função da mudança de parâmetros, utilizando para cada intervalo de 22 peças (amostras), ou seja, identificar quais desses defeitos são eliminados com a mudança de parâmetros, conforme são pré-estabelecidos novos e também se aproximando dos ideais estipulados na literatura.

Para avaliação das primeiras 22 peças (amostras) deixou que o próprio soldador definisse os parâmetros de acordo com o seu conhecimento tácito, por seguinte delimitou-se a faixa de especificação conforme consta na literatura segundo Quites (2002) na tabela 1, e avaliou as soldas em todas essas etapas juntamente com as falhas observadas. Utilizou-se do programa Action Stat 3 para realizar as análises como o teste de normalidade dos dados obtidos e o gráfico de controle ou carta. A soldagem das peças foi realizada com a TIG 200, com display digital, dados adicionais da ficha técnica: Peso (Kg) 8,600 kg; Faixa de regulagem (Amp) 10 a 200Amp; Fator de Trabalho (Amp) 200Amp a 60% / 155Amp a 100%; Eletrodo utilizado 1,60mm a 3,25mm; Dimensões (L x C x A) 165 X 380 X 245mm; Tensão de alimentação 220V MONO ( $\pm 15\%$ ); Fator de Potência 0,93; Consumo kVA 3,2 kVA.

#### 4. Desenvolvimento (Resultados)

Para os resultados obtidos nos experimentos temos primeiramente o quadro com os dados coletados, na sequência o teste de normalidade e o gráfico de controle do processo da corrente, tempo de soldagem (velocidade) e vazão do gás. Os dados do processo obtidos após a realização dos testes com o primeiro soldador estão representados no Quadro 1.

AMOSTRA	1° LADO	2° LADO	MÉDIA	AMPERAGEM	VAZÃO DO GÁS
1	15,20	15,9	15,55	74	6
2	12,79	13,89	13,34	76	6
3	13,31	14,9	14,11	78	6
4	13,87	13,46	13,67	80	6
5	12,81	12,69	12,75	82	6
6	11,51	12,3	11,91	82	6
7	12,54	13,00	12,77	85	6
8	11,91	12,58	12,25	85	6
9	11,77	12,21	11,99	85	6
10	9,04	9,37	9,21	90	6
11	9,72	9,71	9,72	90	6
12	9,11	9,77	9,44	93	6
13	8,19	9,33	8,76	95	6
14	8,66	9,78	9,22	96	6
15	7,45	8,11	7,78	98	6
16	8,37	7,68	8,03	98	6
17	7,84	8,91	8,38	102	6
18	8,59	8,27	8,43	108	6
19	8,21	9,08	8,65	101	6
20	8,36	8,23	8,30	98	6
21	10,51	7,59	9,05	103	6
22	8,97	7,93	8,45	103	6
23	7,81	7,93	7,87	106	6

Fonte: O Autor.

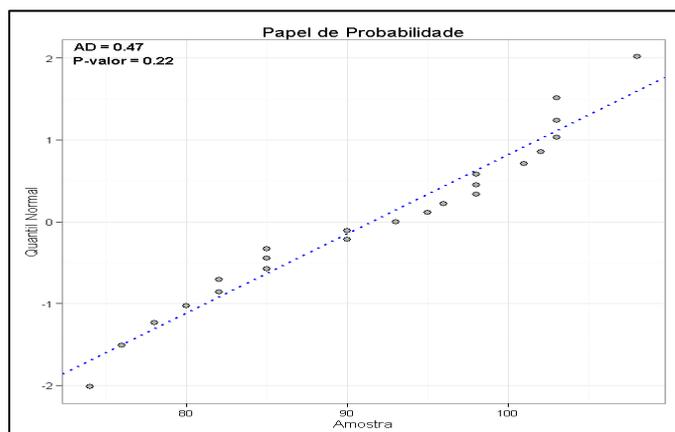
Quadro 1- Dados coletos do primeiro soldador.

Observando a vazão do gás que apresentou-se constante em 6 [l/min] e conforme Quites (2002) menciona que a vazão ideal é de 5 [l/min], nota-se que a vazão está fora da especificação ideal

mencionado na literatura o que gera gastos com o excesso de pressão, porém está próximo considerando que partiu do seu conhecimento tácito. Analisando os dados do quadro 1, observa-se que o tempo médio de soldagem é diretamente proporcional à corrente, ou seja, quanto maior a corrente menor o tempo de soldagem. Segundo Quites (2002) o tempo ideal seguindo as especificações do projeto é que a velocidade de soldagem deve ser de 25 [cm/min] transformando para segundo temos aproximadamente 9,6 segundos considerando a distância de 40 mm especificado no projeto.

A velocidade média geral é de 10,42 segundos, nota-se que está acima do indicado pela literatura de 9,6 segundos (QUITES, 2002), somente cerca de 21,74% ficaram próximo do tempo ideal. Avaliando a variação da corrente deverá ser entre 90 e 110 seguindo as especificações do projeto de espessura e montagem da peça estudada, os dados obtidos mostra que 56,52 % das amostras ficaram dentro da variação indicada, apesar de ser mais da metade ainda há possibilidades de melhoras nos parâmetros de corrente.

Por seguintes realizou-se o teste de normalidade Shapiro Wilk (Figura 4) para a corrente e assim verificar se os dados apresentaram comportamento normal. Para o teste de normalidade considerou-se a corrente como o principal fator determinante do processo de soldagem, sabendo que a velocidade sofre muito mais influências externas (habilidade do soldador, condições do eletrodo, posicionamento da peça de forma correta e dentre outros fatores) e, assim os dados não capazes de mensurar esses fatores adicionais nesse parâmetro.

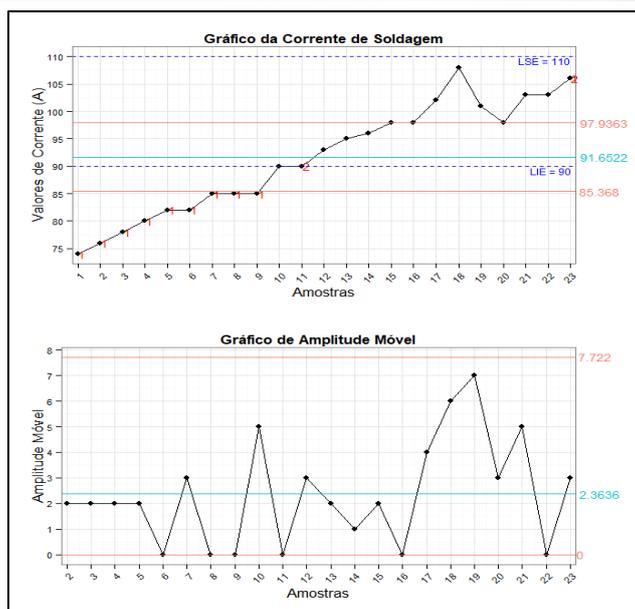


Fonte: O Autor.

Figura 4- Teste de normalidade para corrente.

Nota-se que os dados são normais com P-valor de 0,22, ou seja, o P-valor é maior que 0,05. Apesar de ser um número baixo o que pode-se fazer no próximo estudo é aumentar o tamanho das amostras para que o P-valor seja maior possível.

Após a verificação da normalidade dos dados, plotou-se o gráfico de controle ou carta de controle (Figura 5), para observar o comportamento dos dados dentro das especificações mencionadas na literatura.



Fonte: O Autor.

Figura 5- Gráfico de controle da corrente de soldagem.

Nota-se claramente no gráfico de controle que o processo não está em controle estatístico de processo. Para a análise do gráfico considerou-se 3 opções de testes para identificação de causas especiais no gráfico. Segundo Ribeiro e Caten (2012), sendo 1º - A identificação dos pontos acima de 3 sigma da linha central; 2º - 7 ou mais pontos em sequência no mesmo lado da linha central; 3º - 6 ou mais pontos em sequência, todos crescentes ou decrescente.

Analisando com base nesses testes temos um que da amostra 1 até amostra 9 todos estão fora da especificação tanto de processo quanto limite inferior, observa-se também uma forte tendência crescente do processo até a amostra 18, outro detalhe é mais de 7 pontos tanto acima quanto abaixo da linha central. E a partir da amostra 10 o processo entra dentro dos limites de controle inferior e superior, porém apresentando tendências no processo.

E analisando o gráfico de amplitude nota-se que não há causas especiais, mas observa-se uma certa aleatoriedade nos dados e os pontos perdendo a sequência da amostra 8 e 9. Claramente é notável que o processo necessita de ajustes em todos os parâmetros na vazão do gás, velocidade de soldagem e principalmente a corrente. Com auxílio do questionário foi possível obter os defeitos encontrados nas peças após as inspeções visuais, a Quadro 2 demonstra para cada amostra quais defeitos apresentou nas mesmas.

Amostra	Amperagem	Tempo médio	Elevada fusão	Mordeduras	Crateras lado oposto da solda	Falta de soldagem
1	74	15,55		X	X	
2	76	13,34		X	X	
3	78	14,11		X	X	
4	80	13,67		X	X	
5	82	12,75		X	X	
6	82	11,91		X	X	
7	85	12,77		X	X	
8	85	12,25		X	X	
9	85	11,99		X	X	
10	90	9,21				

11	90	9,72				
12	93	9,44				
13	95	8,76				
14	96	9,22				
15	98	7,78				X
16	98	8,03				X
17	102	8,38				
18	108	8,43	X	X	X	
19	101	8,65				
20	98	8,30				
21	103	9,05	X	X	X	
22	103	8,45				
23	106	7,87	X		X	X

Fonte: O Autor.

Quadro 2- Dados da inspeção visual de cada amostra.

Observa-se que as amostras de 1 a 9 apesar de soldadas com amperagem mais baixas, porém tempos maiores, apresentaram defeitos tais como mordeduras e crateras do lado oposto da soldagem, esses defeitos são evidentes em solda mais demoradas e fusão excessiva em locais incorretos durante a soldagem. As amostras de 10 a 14, 17, 19, 20 e 22 não apresentaram defeitos significativos, visualmente as soldas ficaram com bom acabamento respeitando os parâmetros. A amostra 15 e 16 apresentou defeitos de falta de fusão, notou-se que em alguns pontos não realizou a união das peças, pode ter ocorrido devido à alta velocidade que acabou não realizando a devida fusão da peça e assim ocasionando pontos sem soldagem.

A amostra 18 e 21 apresentou elevada fusão, mordeduras e crateras do lado oposto da solda, devido a amperagem mais elevada e também a velocidade ser menor, ou seja, quanto mais alta amperagem mais rápido deverá ser a soldagem, sendo assim com amperagem elevada, porém tempo baixo ocasionou tais defeitos na amostra. Por fim a amostra 23 apresentou elevada fusão, crateras do lado oposto da solda e falta de soldagem, nota-se que apesar do tempo ser menor, mas a amperagem alta, pode haver pontos em que o processo soldagem variou, devido algum manejo na mão do soldador.

## 5. Conclusão

No processo de soldagem TIG analisado notou-se claramente que está fora de controle, ou seja, há margens para melhoria do processo, apesar apresentar alguns pontos dentro das especificações há muitos avanços que podem ser aplicadas no processo afim de garantir a qualidade final dos produtos soldados.

Considerando que a análise partiu do conhecimento tácito do soldador com a experiência prática aliada a um treinamento, pode corrigir totalmente os parâmetros para que o processo passe estar em controle. A análise dos parâmetros aliado a literatura firmou que realmente com parâmetros corretos pode-se realizar uma soldagem com qualidade respeitando os limites de especificação sugeridas, para isso a carta de controle torna-se uma ferramenta de grande ajuda, no caso da soldagem para manter o processo com maior qualidade possível.

Para um próximo estudo pode-se dar continuidade com os dados após a realização do treinamento verificar se reduziu os defeitos e também facilitar o start da máquina sem que haja um grande range de variação da soldagem, tornando o processo mais centrado nos parâmetros corretos e aumentando a qualidade de soldagem.

## Referências

- BRACARENSE, A. Q.** *Processo de Soldagem ao Arco elétrico TIG (GTAW)*. Universidade Federal de Minas Gerais – Escola de Engenharia. (Artigo- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica). Belo Horizonte, 2000.
- CAMARGO, R. L.; FERREIRA, A.; PORCIÚNCULA, G. S.** *Controle de Qualidade e Análise de Falhas de Soldas de Estruturas Metálicas na Indústria Offshore*. *Revista Espacios*. Vol. 38. N° 21. Pág 37- 51, 2017.
- CARBÓ, H. M.** *Aços inoxidáveis: aplicações e especificações*. São Paulo: ArcelorMittal Inox Brasil, 2008.
- CARPINETTI, L. C. R.** *Gestão da Qualidade: Conceitos e Técnicas*. 2. Ed. São Paulo: Atlas S.A, 2012.
- COELHO, C. F.; JUNIOR, L. P. B.** *O monitoramento da Soldagem como Controle da Qualidade na Indústria Naval*. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. Campos dos Goytacazes – RJ, 2015.
- GALUCH, L.** *Modelo para Implementação das Ferramentas Básicas do Controle Estatístico de Processo*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
- MARTINS, R. A.** *Abordagens Quantitativas e Qualitativas*. Editora: Elsevier Ltda, 2° ed., Rio de Janeiro, 2012.
- MIGUEL, P. A. C.; SOUSA, R.** *O Método do Estudo de Caso na Engenharia de Produção*. Editora: Elsevier Ltda, 2° ed., Rio de Janeiro, 2012.
- NASCIMENTO, R. S.; SILVA, L. C.** *Qualidade na Soldagem em uma Empresa Fabricante de Estruturas Metálicas Soldadas do Setor de Óleo e Gás*. VI Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Niterói, RJ, Brasil 5, 6 e 7 de agosto de 2010.
- QUITES, A. M.** *Introdução à Soldagem a Arco Voltaico*. Editora: Soldasoft, Florianópolis, 2002.
- REBELATO, M. G.; SOUZA, G. A.; RODRIGUES, A. R.; RODRIGUES, I. C.** *Estudo da Aplicação de Gráficos de Controle em Processos de Saturação de Papel*. Bauru, XIII SIMPEP, 2006.
- RIBEIRO, J. L. D.; CATEN, C. S.** *Controle Estatístico do Processo*. Publicado por: FEENG/UFRGS – Fundação Empresa Escola de Engenharia da UFRGS-Universidade Federal do Rio Grande do Sul Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre, 2012.
- RODRIGUES, M.V.** *Ações para a Qualidade: Gestão Estratégica e Integrada para a Melhoria dos Processos na busca da Qualidade e Competitividade*. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2010.
- ROSARIO, K. P.; DANTAS, L. M.; OEIRAS, E. N.** *Aplicação do Controle Estatístico de Processo no Monitoramento do Peso Médio de Polpas de Frutas: Um Estudo Realizado em uma Empresa de Médio Porte*. Fortaleza: XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2015.
- SILVA, L. S.; FLORES, D.** *Gestão da Qualidade em Arquivos: Ferramentas, Programas e Métodos*. Salvador: III – Simpósio Baiano de Arquivologia, 2011.
- WERKEMA, M.C.C.** *Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos*. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995. (Série Ferramentas da Qualidade, 2).
- AGRANONIK, M.; HIRAKATA, V. N.** *Cálculo de tamanho de amostras: proporções*. *Revista HCPA*, n.31, v.3, 382-388, 2011.