

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PRANÁ

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

EDUARDO MINORU SASAKI KUWAHARA

**MEDIÇÃO DA MORFOLOGIA DO CORDÃO DE SOLDA
ATRAVÉS DE IMAGENS 3D**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2016

EDUARDO MINORU SASAKI KUWAHARA

**MEDIÇÃO DA MORFOLOGIA DO CORDÃO DE SOLDA
ATRAVÉS DE IMAGENS 3D**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica, da
Coordenação de Engenharia
Mecânica, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.
Orientador: Prof. Me Celso A. Corrêa

Cornélio Procópio

2016

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não poderia ser concluído sem a ajuda de diversas pessoas que durante todo esse tempo de preparação sempre estiveram me apoiando, portanto deixo aqui uma homenagem:

Ao meu orientador Celso Alves Corrêa, que esteve sempre disposto a me ajudar e atender sempre que possível, e que fica como grande exemplo de um profissional dedicado e atencioso que deve ser seguido.

Aos professores João Roberto Sartori Moreno e Émillyn Ferreira Trevisani Olivio, que aceitaram participar da banca avaliadora desse trabalho, contribuindo com toda sua experiência.

A minha família que sempre me apoiou a seguir os meus sonhos, e que sem eles eu jamais teria conseguido ser essa pessoa que sou hoje.

A todos os amigos que me ajudaram durante o curso, de forma direta ou indireta, nunca me deixando desistir e sempre me incentivando.

E a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, local que me permitiu e proporcionou uma chance de me tornar o profissional que me consagro no presente.

RESUMO

KUWAHARA, Eduardo Minoru Sasaki. *Medição da morfologia do cordão de solda através de imagens 3D*. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Mecânica – Programa de Graduação de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2016.

O rápido desenvolvimento dos processos produtivos acarretou a necessidade de melhorar a produtividade e qualidade juntamente com a redução de tempo e custos, isso levou ao desenvolvimento e aperfeiçoamento de técnicas e sistemas automatizados utilizados para o monitoramento e controle dos processos de soldagem. Dentre as pesquisas relacionadas ao monitoramento e controle aplicadas na soldagem, podemos destacar aqueles utilizados para o monitoramento da geometria do cordão de solda. No presente trabalho, descreve-se o funcionamento de um desses processos de monitoramento, um sistema de medição 3D para pós soldagem ou também chamado de scanner 3D para pós soldagem, utilizado na análise da soldagem de revestimento aplicada pelo processo de arame tubular com proteção gasosa, utilizando-se um metal base de aço SAE 1020 e como metal de adição um arame tubular de 1,2 milímetros de diâmetro do aço inoxidável martensítico 410 (CA6MN). Por fim, é discutido os resultados obtidos nesse equipamento, além do cálculo das estatísticas (média, variância e desvio padrão) dos mesmos, a fim de validar esse aparelho.

Palavras chave: Soldagem, Scanner 3D, Validação.

ABSTRACT

KUWAHARA, Eduardo Minoru Sasaki. *Weld bead morphology measurement through 3D images*. 2016. Monograph – Mechanical Engineering Graduate Program, Federal Technological University of Paraná. Cornélio Procópio, 2016.

The fast development of production processes has led to the need to improve productivity and quality along with the reduction of time and costs, this led to the development and improvement of techniques and automated systems used for monitoring and control of welding processes. Among the research related to monitoring and control applied in welding, we can highlight those used for monitoring of the weld bead geometry. In this paper, we describe the operation of these monitoring processes, a 3D measurement system for post welding or also called 3D scanner for post welding, used to analyze the coating applied by welding cored wire process shielding gas, using a steel base metal such as SAE 1020 and a tubular filler metal wire of 1.2mm diameter stainless steel martensitic 410 (CA6MN). Lastly, it's discussed the results of this equipment, and the calculation of statistics (average, variance and standard deviation) thereof in order to validate this device.

Key words: Welding, 3D Scanner, Validation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Geometria do cordão: soldagem de penetração (a) e soldagem de revestimento (b)	15
Figura 2: Soldagem com arame tubular autoprottegido	16
Figura 3: Soldagem com arame tubular com gás de proteção	16
Figura 4: Formas dos arames tubulares.....	17
Figura 5: Extensão livre do eletrodo ou stick out.....	20
Figura 6:Inclinação da tocha de soldagem.....	21
Figura 7: Rotores de turbinas de ação tipo Pelton (a), de reação tipo Francis (b) e Kaplan (c)	22
Figura 8:Diagrama do sistema de visão por laser	25
Figura 9: Linha de laser projetada no cordão de solda	25
Figura 10: Representação esquemática de um cordão de solda.	26
Figura 11: Distribuição e Localização dos Equipamentos Utilizados.....	29
Figura 12: Laser aplicado no cordão de solda.....	33
Figura 13: Cordão de solda reconstruído em 3D.....	34
Figura 14: Gráficos Reforço x Comprimento.	37
Figura 15: Gráficos Largura x Comprimento	38
Figura 16: Gráficos Área x Comprimento	39
Figura 17: Gráficos Índice de convexidade x Comprimento	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição química das barras de aço SAE 1020	28
Tabela 2: Composição química do metal de adição – EC410NiMo MC	29
Tabela 3: Equipamentos utilizados na bancada de ensaios.....	30
Tabela 4: Demais instrumentos utilizados	30
Tabela 5: Parâmetros e níveis mantidos constantes durante a soldagem	31
Tabela 6: Variáveis de influência da soldagem e níveis.....	31
Tabela 7: Resultados da morfologia do cordão.....	35
Tabela 8: Comparativo largura	41
Tabela 9: Comparativo reforço	41
Tabela 10: Comparativo área	42
Tabela 11: Comparativo índice de convexidade.....	42

LISTA DE SIGLAS

ASTM – American Society for Testing and Materials

AWS – American Welding Society

DC – Direct Current

DCEN – Direct Current Electrode Negative

DCEP – Direct Current Electrode Positive

DP – Desvio padrão

FCAW – Flux Cored Arc Welding

GMAW – Gas Metal Arc Welding

IC – Índice de Convexidade

IIW – Instituto Internacional de Soldagem

SAE – Society of Automotive Engineers

SMAW – Shielded Metal Arc Welding

VAR – Variância

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS DO TRABALHO	11
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	12
2	REVISAO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	SOLDAGEM	13
2.2	SOLDAGEM DE REVESTIMENTO	14
2.3	SOLDAGEM POR ARAME TUBULAR	15
2.4	PARÂMETROS DE SOLDAGEM COM ARAME TUBULAR	18
2.5	TURBINAS HIDRÁULICAS	22
2.6	RECONSTRUÇÃO DE IMAGENS 3D	23
2.7	ESTATÍSTICA	Erro! Indicador não definido.
3	MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1	MATERIAIS	28
3.2	EQUIPAMENTOS	29
3.3	SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE IMAGENS 3D	32
4	RESULTADOS	35
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÃO	44
6	REFERÊNCIAS	45
	ANEXO A	48

1 INTRODUÇÃO

A soldagem possui grande importância no desenvolvimento industrial mundial, sendo o campo de aplicação da soldagem praticamente irrestrito. As indústrias de diferentes ramos (aeroespacial, eletrônica, construções, petróleo, geração de energia, transporte, alimentar, agrícola, automotriz etc.) não poderiam ter atingido seu desenvolvimento atual sem os processos de soldagem atualmente existentes. Como técnica de união, de proteção e de recuperação de materiais, a soldagem se destaca por sua versatilidade tanto no aspecto tecnológico como no âmbito econômico. Durante as últimas décadas, geraram-se inovações tanto no campo dos processos e equipamentos como no setor de bens dos consumíveis, que têm transformado uma atividade – que, em suas origens, era artesanal – em uma disciplina tecnológica de alta complexidade. (CRUZ, 2015)

Para se utilização dessa tecnologia de fabricação, faz-se necessário um grande e rigoroso conhecimento técnico, além de um controle dos processos, procedimentos, equipamentos e outras variáveis. Com isso, cada vez mais, existe a necessidade e interesse do meio científico e industrial da melhoria da qualidade desse processo, juntamente com o baixo custo do processo.

Nos últimos anos, em escala mundial, a soldagem com arame tubular (FCAW – Flux Cored Arc Welding) tem apresentado o maior crescimento em termos de utilização, isso se deu graças às características especiais que esse processo pode resultar. Dentre as maiores vantagens alcançadas na utilização deste processo, pode-se destacar a obtenção de soldas de alta qualidade, arco estável, menor vazão de gás e baixo nível de respingos.

As altas taxas de deposição e o desenvolvimento de novos consumíveis têm levado empresas a migrar para este processo. Portanto, os arames tubulares, foram desenvolvidos no intuito de aumentar a competitividade e reduzir custos, que são os principais objetivos em um ambiente industrial.

Este projeto busca determinar as características geométricas da solda de revestimento aplicada pelo processo arame tubular em corrente convencional aplicando reconstrução de imagens 3D. Com isso, pretende-se desenvolver conhecimentos e análises para melhor compreender as limitações e vantagens que podem ser obtidas no emprego do método de soldagem por arame tubular, encontrando as melhores combinações entre os parâmetros de soldagem e incentivando um interesse cada vez maior das indústrias pela sua utilização.

1.1 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS DO TRABALHO

O processo de soldagem pode se tornar vantajoso ou não em relação aos seus resultados obtidos, de acordo com a combinação de parâmetros adotados, dependendo do tipo de processo, o eletrodo utilizado, metal de base adotado e demais fatores que possam interferir nos resultados desejados.

Neste contexto, o presente trabalho busca estudar parâmetros na soldagem de revestimento com corrente convencional utilizando arame tubular, a partir da aquisição de imagens 3D pós-soldagem, utilizando uma webcam e um laser.

Portanto, os objetivos específicos deste trabalho são:

- Determinar as características da morfologia do cordão de solda (largura, reforço, área do reforço e índice de convexidade) com aquisição de imagens 3D.
- Verificar estatisticamente que resultado é o mais indicado para a soldagem de revestimento com arame tubular.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se dividido nos seguintes capítulos:

- Capítulo 1: introdução ao tema e objetivos buscados com a realização do trabalho;
- Capítulo 2: uma revisão bibliográfica dos pontos-chaves que permeiam este estudo, buscando esclarecer conceitos e facilitar a obtenção dos resultados;
- Capítulo 3: detalhamento dos materiais e equipamentos utilizados, bem como a metodologia empregada em cada etapa, além de todas as análises e estudos estatísticos necessários.
- Capítulo 4: apresentação de todos os dados coletados e respostas após as análises, bem como discussões quanto aos resultados.
- Capítulo 5: trata das conclusões obtidas avaliando e comparando tudo o que foi encontrado na bibliografia, com os resultados alcançados nos ensaios e com os objetivos estipulados.
- Capítulo 6: sugestões para trabalhos futuros.
- Capítulo 7: apresentação das referências buscadas para a revisão bibliográfica e formular a proposta de trabalho.

2 REVISAO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será abordada a revisão da literatura referente à tópicos relacionados à execução do trabalho. Dentre eles, a descrição de conceitos e aplicações da soldagem, soldagem de revestimento, soldagem com arame tubular, morfologia do cordão, aquisição de imagens 3D e estatística necessária.

Tais pesquisas foram realizadas durante todo decorrer do trabalho e efetuadas em livros, artigos, meio eletrônico, apostilas e vídeos.

2.1 SOLDAGEM

De acordo com MODENESI et al. (2012), os métodos utilizados para unir metais são divididos em dois grupos distintos, o primeiro são os processos que utilizam forças macroscópicas e o segundo são os processos baseados nas forças microscópicas, sendo elas a interatômica e a intermolecular. No primeiro caso, temos como exemplos a rebiteagem e a parafusagem, onde a resistênciada junta depende principalmente da resistência ao cisalhamento do parafuso ou rebite. Como exemplos da segunda categoria, pode-se ser citado a soldagem, a brasagem e a colagem, onde a resistência da junta depende de quão próximos estão os átomos e moléculas dos materiais a serem unidos ou destas e um material intermediário chamado de material de adição.

Existem várias definições para soldagem, porém, classicamente a soldagem é definida como técnica de união entre duas ou mais partes, assegurando entre elas a continuidade e as características mecânicas e químicas do material.

Temos como principal definição, aquela dada pela Sociedade Americana de Solda (AWS, 1987), que define esse processo como: "Operação

que visa obter a coalescência localizada, produzida pelo aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a aplicação de pressão e de metal de adição."

O processo de soldagem é o conjunto de elementos operacionais básicos utilizados para fazer a união soldada, que devem cumprir com os seguintes requisitos: fornecer a energia necessária para criar a união (térmica, mecânica ou uma combinação de ambas); evitar a contaminação atmosférica ou seus efeitos sobre o metal fundido; fornecer o metal de adição (opcional com alguns processos e configurações da junta); e, controlar a metalurgia dos metais envolvidos. (GIRALDO, 1997)

2.2 SOLDAGEM DE REVESTIMENTO

Com a utilização dos equipamentos em regime de trabalho nas indústrias, a sua deterioração é constante e o desgaste de peças ou equipamentos gera um aumento nos custos de determinado processo. O desgaste é um destes principais fatores que geram a ocorrência deste alto índice de perdas, afinal todo material, peça ou equipamento sofre desgaste, porém existem limites que indicam até quando você poderá utilizar o equipamento, geralmente determinados pelo tipo de esforço que aquele determinado componente deverá suportar.

Alguns destes cuidados importantes quando se opta pelo revestimento realizado à partir da soldagem é em relação à geometria da peça, custo do procedimento, cuidado com o desenvolvimento de trincas ou distorções e o nível de qualidade exigida. No qual, este índice da qualidade será obtido dependendo do tipo de material de adição utilizado, da forma de aplicação e habilidade do soldador. (GOMES, 2010)

Algumas finalidades do revestimento pelo método da soldagem que podem ser citados: melhorar a eficiência do equipamento; reduzir o consumo de potência; reduzir custos com aquisição de novas máquinas; recuperação de

peças sem necessidade de substituição; aumento da vida útil de instalações, peças e ferramentas; diminuição do tempo de parada dos equipamentos e melhores soluções em projetos de máquinas. (ZIEDAS e TATINI, 1997).

A Figura 1 abaixo mostra dois tipos de soldagem, a soldagem de penetração (a) e a soldagem de revestimento (b), sendo R o reforço, L a largura do cordão de soldagem e P a penetração. Na soldagem de penetração o objetivo é obter uma penetração grande, um pequeno reforço e a maior diluição possível, enquanto que na soldagem de revestimento deseja-se uma penetração pequena (região B), um reforço maior possível (região A) e a menor diluição possível. Ainda nesta mesma figura apresenta-se o cálculo da Diluição (D).

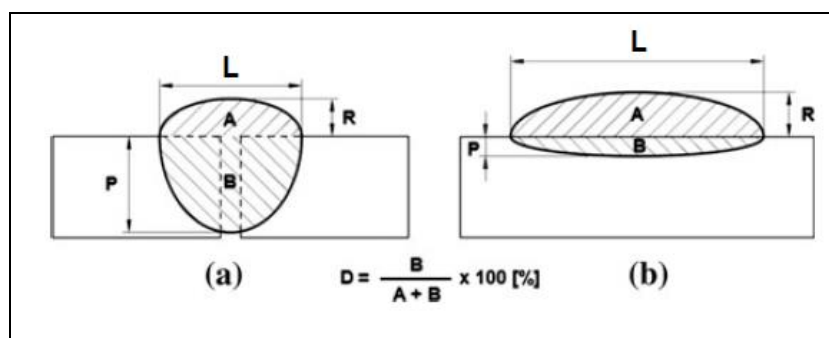


Figura 1: Geometria do cordão: soldagem de penetração (a) e soldagem de revestimento (b).
Fonte: Adaptado de GOMES et al, 2012.

2.3 SOLDAGEM POR ARAME TUBULAR

A soldagem por arame tubular acaba ganhando espaço devido os importantes fatores que podem ser obtidos por meio dele, combinando as melhores características da soldagem por arco submerso e da soldagem empregando dióxido de carbono (CO₂) como gás de proteção. Essa combinação da proteção externa proporcionada pelo CO₂ com o fluxo do núcleo do arame tubular produz um arco estável com baixo nível de respingos e uma solda de alta qualidade. (FORTES, 2004)

A soldagem ainda possui duas variações, sendo o método quando apenas o fluxo contido no eletrodo gera toda a proteção necessária, chamado então arame autoprotetido, ilustrado pela Figura 2. E outro, apresentado na Figura 3 quando é necessária uma complementação da proteção com uma nuvem de gás externa, geralmente de dióxido de carbono (CO_2).

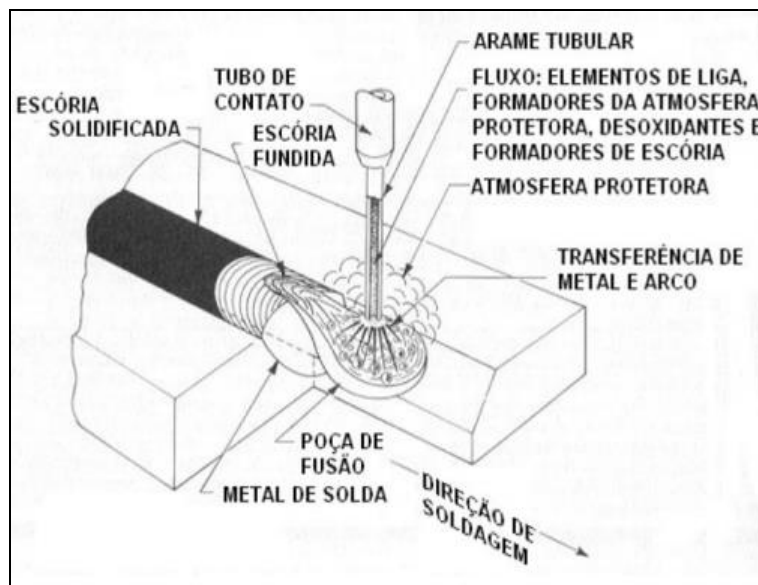


Figura 2: Soldagem com arame tubular autoprotetido.

Fonte: GOMES, 2010, p. 16.

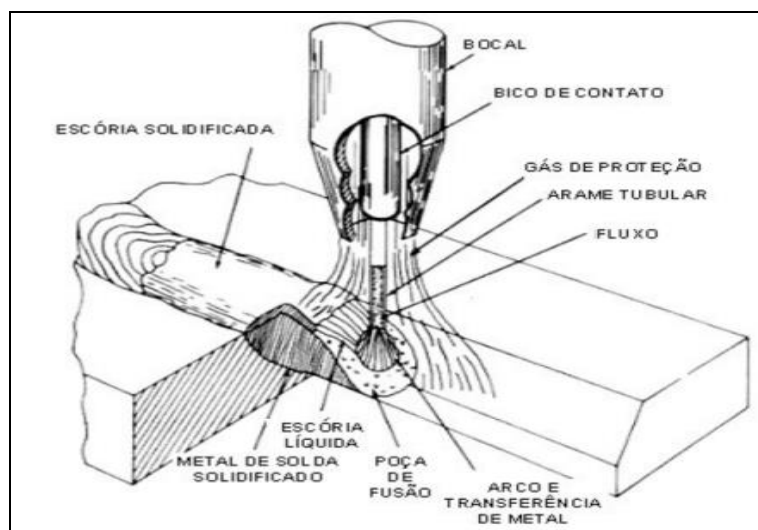


Figura 3: Soldagem com arame tubular com gás de proteção.

Fonte: GOMES, 2010, p. 16.

Os arames tubulares apresentam diferentes formatos internos que mudam de acordo com o diâmetro empregado. Segundo o Instituto Internacional de Soldagem (IIW), os formatos podem ser descritos como: sem costura, de topo, sobreposto, dobra simples, dobra múltipla e dobra dupla. A Figura 4 representa as suas formas: (MODENESI et. al, 2010)













Tipo Nº.	Seção	Símbolo	Descrição
1			Sem costura
2			De topo
3			Sobreposto
4			Dobra simples
5			Dobra múltipla
6			Dobra dupla

Figura 4: Formas dos arames tubulares.

Fonte: MODENESI et. al, 2007.

De acordo com GOMES (2010) E RODRIGUES (2005), entre as principais vantagens e limitações/desvantagens obtidas no emprego da soldagem com arame tubular, temos:

Vantagens

- Altas taxas de deposição;
- Eletrodo com desperdícios mínimos;
- Soldagem em todas as posições;
- Flexibilidade;
- Solda de alta qualidade;
- Poça de fusão com excelente controle.
- Arco visível
- Alta produtividade

- Benefícios metalúrgicos provenientes do fluxo interno do arame
- Solda vários tipos de aços e em grandes faixas de espessuras

Desvantagens/ Limitações

- Limitado à soldagem de metais ferrosos e liga a base de níquel;
- Necessidade de remoção de escória;
- O arame tubular é mais caro na base de peso do que o arame de eletrodo sólido, entretanto, a medida que aumentam os elementos de ligas esta relação diminui;
- O equipamento é mais caro se comparado ao utilizado para soldagem pelo processo SMAW;
- Restrição da soldagem ao ar livre (somente para soldagem FCAW com gás de proteção);
- O alimentador de arame e a fonte de energia devem estar próximos ao local de trabalho;
- São gerados mais fumos do que os processos GMAW e SMAW;
- Necessidade de se ter atenção com a alimentação de arame, para que o mesmo não ocorra irregularmente.
- Não é adequado para aplicações que requerem pintura posterior, como por exemplo chassis de automóveis.

A aplicação para a soldagem com arame tubular abrange a fabricação de estruturas de aço carbono, de baixa liga e de aço inoxidável; soldagem em fabricação, manutenção e montagem no campo; soldagem de partes de veículos; em indústrias navais e nucleares; construção de plataformas marítimas. (MODENESI et. al, 2010)

2.4 PARÂMETROS DE SOLDAGEM COM ARAME TUBULAR

Os parâmetros do processo são os fatores que podem ser ajustados para controlar uma solda, por isto é necessário conhecer o efeito da cada

variável sobre as diversas características ou propriedades do processo, bem como a forte influência sobre a qualidade global e geometria da solda. (KIM, 1995).

A corrente de soldagem é a principal responsável pela penetração e tem uma característica proporcional, determinando a taxa de deposição e modo de transferência do metal; e ainda determina a velocidade de alimentação do arame. Se a intensidade de corrente for muito baixa pode ocorrer excesso de respingos, gotas com grande diâmetro e ainda se a velocidade de alimentação do arame não for correta pode ocorrer um excesso de arame e falta de corrente elétrica para fundir o metal de adição.

A tensão do arco elétrico é relacionada com a extensão do arco elétrico, e com tensões maiores há um aumento do arco elétrico, e pode causar um aumento de respingos e instabilidade do arco elétrico, se a tensão do for muito baixa, a extensão do arco elétrico será pequena e fará com que o arame “mergulhe” na poça de fusão. O aumento da tensão ainda irá ocasionar um cordão mais largo, e a redução da tensão altera a geometria do cordão, fazendo com que se torne convexo.

A distância bico de contato peça vai influenciar o calor desenvolvido pelo efeito Joule, quanto maior este parâmetro maior o efeito Joule (I^2R), influenciando a fusão do consumível e o aquecimento do fluxo interno do arame. Se esta distância for excessiva irá ocasionar muitos respingos e cordões convexos, se esta distância for muito pequena haverá instabilidade do arco se a velocidade de alimentação do arame não for correta. Segundo MACHADO (1996) para arames tubulares auto protegidos a distância pode ser entre 20 e 90 mm, e para arames tubulares com proteção gasosa a distância entre 20 e 40 mm.

O comprimento do arame livre depois de ter passado pelo bico de contato, chamado extensão livre do eletrodo ou stick out (Figura 5), tem um efeito considerável sobre a geometria do cordão de solda. Normalmente, a distância entre a ponta de contato e a peça varia entre os 12-40 mm. O aumento na taxa de fusão do eletrodo como resultado de aumento do stick out é proporcional ao produto da densidade da corrente e a distância do bico de contato à peça de trabalho.

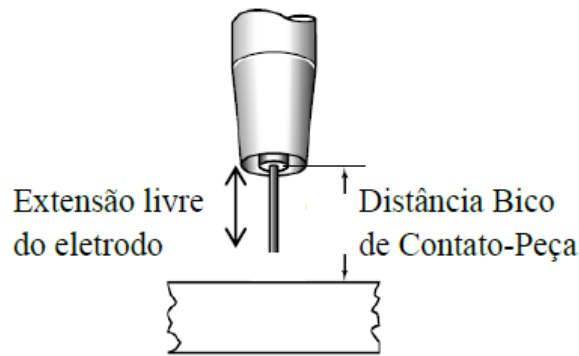


Figura 5: Extensão livre do eletrodo ou stick out.
Fonte: MODENESI et al., 2010.

A velocidade de soldagem é a velocidade linear na que o arco elétrico se move ao longo da junta de solda. Se se aumenta a velocidade de solda, reduz-se a entrada de energia ou calor à peça e menos metal de recheio aplica-se por unidade de longitude à solda, a penetração para velocidades excessivamente lentas vê-se mais afetada pela velocidade de soldagem que por qualquer outra variável. O excesso de velocidade causa mordeduras, porosidade, forma do cordão irregular, fissuração e maior inclusão de escoria no metal de solda. Velocidades de solda relativamente lentas provêm tempo para que os gases escapem desde o metal fundido, o que reduz a porosidade, ainda que uma velocidade excessivamente baixa produzisse uma forma do cordão convexa com inclusão de escoria e é possível atravessar o metal a soldar.

A tocha de solda pode ser mantida perpendicular à peça de trabalho ou, inclinada para adiante ou para trás com respeito à poça de fusão. À medida que o arco alinha-se ao eixo central do eletrodo, a forma da poça de solda é diferente na cada caso, e assim é a forma final do cordão de solda. Na soldagem para trás o metal fundido flui através do arco, a penetração e o reforço se reduzem enquanto a largura do cordão aumenta. No caso da solda para diante a penetração e a altura do reforço aumentam enquanto reduz-se a largura da solda (KUMAR, 2011). Com a tocha em uma posição perpendicular resulta em uma geometria da união entre as obtidas nos dois casos anteriores, a influência desta variável na geometria do cordão é ilustrada na Figura 6.

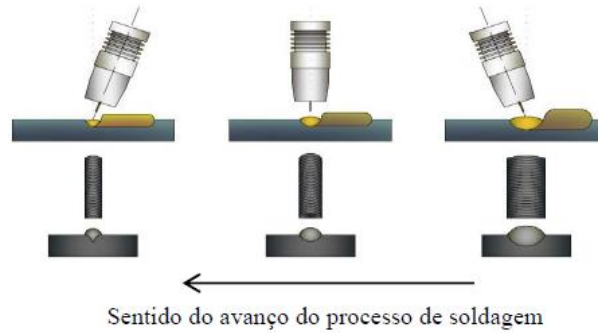


Figura 6: Inclinação da tocha de soldagem.
Fonte: MODENESI et al., 2010.

A direção do fluxo de corrente influi na eficiência de fusão da solda por arco, e há duas possibilidades duas possibilidades da polaridade de soldagem utilizadas: a polaridade direta e a polaridade inversa. Quando se utiliza a corrente direta (DC) ou a conexão de corrente contínua ao eletrodo negativo (DCEN), o eletrodo é o polo negativo e a peça de trabalho é o polo positivo do arco de solda. Quando se utiliza a polaridade inversa DC ou a conexão corrente contínua ao eletrodo positivo (DCEP), o eletrodo é o polo positivo e a peça de trabalho é o polo negativo. Na utilização da polaridade de corrente contínua ao eletrodo positivo (DCEP), o efeito de aquecimento do fluxo de elétrons concentra-se na ponta do eletrodo. Isto contribui à fusão eficaz do eletrodo gerando metal fundido e o reforço para a solda. A penetração da solda e a produtividade aumentam com DCEP.

Os gases de proteção utilizados com a soldagem por arco metálico com gás (MIG ou Arame tubular) podem ser reativos, inertes ou misturas de ambos os tipos de gases. Os gases reativos como o oxigênio e nitrogênio não são práticos para usar só como gases de proteção. O dióxido de carbono é a exceção, é barato e funciona bem em aços ao carbono e de baixa liga. Os gases inertes usados são argônio (Ar) e hélio (He). Estes gases não reagem com outros elementos químicos. Argônio puro e hélio são excelentes gases para a proteção do arco, do eletrodo e do metal de base da contaminação, no entanto, para alguns processos MIG ou Arame Tubular são necessárias misturas adequadas destes com os gases reativos, para assegurar a

estabilidade do arco, reduzir os respingos, e melhorar a geometria do cordão de solda.

2.5 TURBINAS HIDRÁULICAS

Segundo MARQUES (2003) são consideradas turbinas hidráulicas as turbinas que utilizam especificamente para transformar a energia hidráulica (a energia de pressão e a energia cinética) de um fluxo de água em energia mecânica na forma de torque e velocidade de rotação, para a geração de energia elétrica. As turbinas de reação mais comuns são as do tipo Francis, Kaplan e Pelton, mostradas na Figura 7.

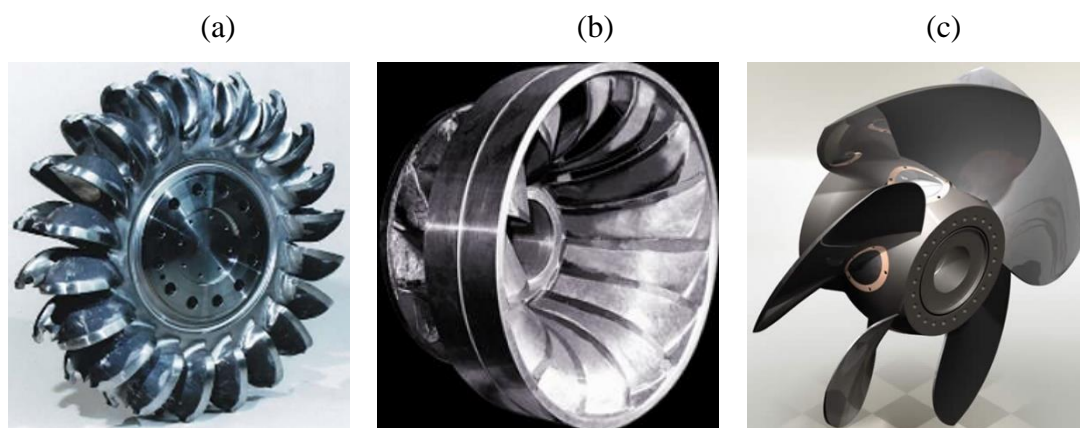


Figura 7: Rotores de turbinas de ação tipo Pelton (a), de reação tipo Francis (b) e Kaplan (c).
Fonte: Modificado de MARQUES, 2003.

De acordo com a norma ASTM A743 (2003) a substituição dos aços C-Mn por aços inoxidáveis martensíticos macios (AIMM) fundidos com 13%Cr, 4%Ni e 0,4%Mo, classificado como CA6NM está associada, entre outros fatores, à melhor resistência à corrosão e aos danos por cavitação desse material, aliada à boa soldabilidade, se comparado aos demais aços inoxidáveis martensíticos. Os aços inoxidáveis fundidos da classe CA-6NM apresentam um limite de escoamento mínimo de 550 MPa enquanto que os aços C-Mn fundidos tem 250 MPa, possibilitando o projeto e construção de componentes de turbinas hidráulicas com melhor eficiência de operação,

menores espessuras e conseqüentemente custos menores para as mesmas condições de operação (AKHTAR, 1985).

2.6 RECONSTRUÇÃO DE IMAGENS 3D

Na soldagem com arco elétrico o soldador, ou operador de soldagem, controla um grande número de variáveis intrínsecas ao processo de soldagem, que afetam diretamente ou indiretamente a geometria do cordão de solda. Um soldador experiente e qualificado procura controlar as variáveis e ajustá-las corretamente durante a soldagem para manter sempre o processo com a melhor qualidade possível.

A qualidade da solda segue sendo tema importante para muitas empresas manufatureiras que utilizam estes processos na fabricação. Existem distintos conceitos de qualidade, mas em resumo, qualidade se pode definir como os aspectos quantitativos que garantem que um produto cumpra com os requerimentos de funcionalidade desejados pelos clientes.

Atualmente a avaliação da qualidade da solda é feita por ensaios destrutivos e não destrutivos. Os ensaios destrutivos consistem em fazer ensaios de corte, cisalhamento, tração, além de outros em amostras de peças soldadas para avaliar a resistência mecânica, continuidade metálica e outros fatores importantes do produto final. Os ensaios não destrutivos são técnicas utilizadas na inspeção da solda a partir de métodos indiretos para a avaliação sem inutilizar a peça depois do ensaio. Os métodos mais comuns são os baseados em ensaios por ultrassom, radiologia, partículas magnéticas e líquidos penetrantes. Os ensaios sejam destrutivos ou não destrutivos são feitos depois do processo de soldagem (ANDREUCCI, 2016).

Atuais desenvolvimentos em união de materiais estão aumentando o seu alcance e estendendo-se nas indústrias especializadas nas quais a complexidade da geometria e o risco do ambiente necessitam de sistemas de um grande nível de automatização. Neste tipo de tecnologia tem sido incorporado o monitoramento em tempo real ou pós soldagem da qualidade do

processo de soldagem, pois é muito importante para evitar o tempo e custos das inspeções depois do processo de soldagem, assim como as operações de reparação, mas a escolha adequada dos parâmetros para controlar e otimizar a qualidade da solda demanda tempo devido à quantidade de variáveis inter-relacionadas no processo.

A soldagem e as técnicas de ensaios não destrutivos andam de mãos dadas, como por exemplo, os ensaios por ultrassom e raio-X que são técnicas aceitas na avaliação em soldagem com normas específicas para estes ensaios. (HOUT, 2013)

Existem vários métodos para se medir a geometria, sendo o método mais conhecido o ensaio destrutivo através de análise metalográfica (macrografia) com a utilização de microscópios, projetores de perfil, máquinas de medição tridimensional e softwares de desenho auxiliado por computador. Com o crescimento e difusão da eletrônica e informática, a digitalização 3D de alta resolução na soldagem é uma técnica de medição recente e promissora. Nesta técnica não existe o corte dos corpos de prova e não há contato entre a amostra e o sistema de medição, sendo possível obter uma representação digital fiel de alta resolução da superfície desejada, com grande repetibilidade em todas as amostras, com economia de tempo nas medições e ainda o sistema pode ser automatizado.

Segundo HOUT (2013) a imagem a ser capturada com a aplicação de um laser, fornecendo meios para examinar o perfil da superfície do cordão de solda, e ainda a possibilidade de determinar defeitos nesta superfície. Esta configuração foi aplicada por CHU & WANG (2016) para determinação de defeitos após a soldagem. EKKEL et al (2015) utilizou um sistema comercial com esta técnica para detecção de defeitos em soldagem subaquática. CRUZ et al (2015) utilizaram a modelagem do cordão de solda MIG para controle da largura e reforço online. A Figura 8 abaixo mostra esquematicamente o sistema de escaneamento 3D com laser, enquanto que a Figura 9 abaixo mostra a linha de laser projetada no cordão de solda.

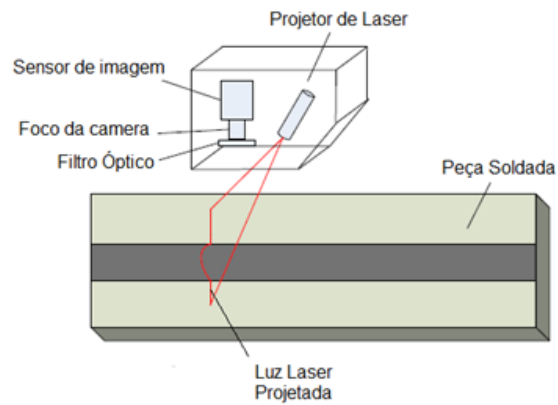


Figura 8: Diagrama do sistema de visão por laser
Fonte: Autoria própria.

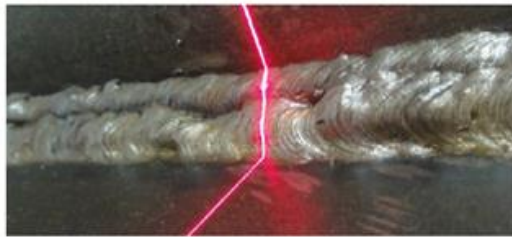


Figura 9: Linha de laser projetada no cordão de solda.
Fonte: EKKEL et al, 2015.

A aquisição de imagens 3D e dimensionamento de peças unidas por soldagem é importante pela eliminação de erros pelo fator humano nas variáveis de resposta, de grande importância para gerar a documentação para relatórios de qualidade. A Figura 10 abaixo apresenta esquematicamente um cordão de solda.

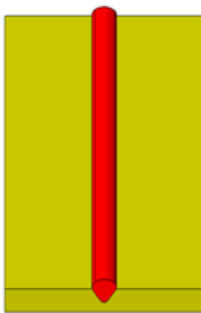


Figura 10: Representação esquemática de um cordão de solda.
Fonte: Autoria própria.

2.7 APLICAÇÃO DE ESTATÍSTICA NOS RESULTADOS

O cálculo das estatísticas foi utilizado a fim de observar a estabilidade dos resultados obtidos pelo scanner 3D e auxiliar na escolha dos parâmetros adequados para a soldagem com arame tubular. Esses cálculos foram realizados através do software Excel. Os resultados desses cálculos estão disponíveis no Anexo A.

A Estatística é entendida como um conjunto de técnicas que permite, de forma sistemática, organizar, descrever, analisar e interpretar dados oriundos de estudos ou experimentos, realizados em qualquer área do conhecimento.

As medidas de estatística descritiva, designadas por parâmetros quando se referem à população e por estatísticas quando se referem às amostras, permitem sintetizar os dados da população ou da amostra através de um só valor.

Apenas salientaremos algumas das medidas referidas, nomeadamente, nas medidas de localização salientamos as medidas de tendência central: média aritmética e; nas medidas de dispersão: a variância e o desvio padrão.

A média aritmética (\bar{x}) é o quociente entre a soma de todos os valores observados e o número total de observações. É dado conforme a equação abaixo.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

A variância de uma variável aleatória ou processo estocástico é uma medida da sua dispersão estatística, indicando "o quão longe" em geral os seus valores se encontram do valor esperado. Em linguagem comum isto pode ser expresso como "A média do quadrado da distância de cada ponto até a média", e assim é a "média do quadrado dos desvios".

A variância é representada por s^2 , como sendo a medida que se obtém somando os quadrados dos desvios das observações da amostra, relativamente à sua média, e dividindo por n ou por $n-1$, conforme o tamanho da amostra é superior a 20 ou não superior a 20, respectivamente. A equação abaixo apresenta a fórmula de cálculo da variância.

$$s^2 = \begin{cases} \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \dots, n \leq 20 \\ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \dots, n > 20 \end{cases}$$

O desvio padrão é a medida mais comum da dispersão estatística (s), que mostra o quanto de variação ou "dispersão" existe em relação à média (ou valor esperado). Um baixo desvio padrão indica que os dados tendem a estar próximos da média; um desvio padrão alto indica que os dados estão espalhados por uma gama de valores. O desvio padrão é definido como a raiz quadrada da variância, e desta forma apresenta uma maneira a dar-nos uma medida da dispersão que seja um número não-negativo e utilize a mesma unidade de medida dos dados fornecidos inicialmente.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X - \bar{X})^2}{N-1}}$$

Desvio Padrão

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e equipamentos que foram necessários à realização dos experimentos para a obtenção dos resultados almejados. Também, está detalhada a metodologia empregada e etapas executadas para atingir os objetivos estipulados.

3.1 MATERIAIS

Como metal de base foi adotado barras de aço trefiladas SAE 1020, com corpos de prova nas seguintes dimensões: 185,00 mm (milímetros) de comprimento; 63,50 mm (milímetros) de largura e 12,70 mm (milímetros) de espessura. A Tabela 1 abaixo mostra a composição química das barras, fornecida pelo fabricante através de certificado da composição química.

Tabela 1: Composição química das barras de aço SAE 1020 (Fonte Gerdau).

Elementos	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni	Sn	N (ppm)
Teor em %	0,18 / 0,23	0,30 / 0,60	0,10 / 0,30	0,03 0 máx.	0,03 5 máx.	0,20 0 máx.	0,15 0 máx.	0,15 0 máx.	0,06 0 máx.	80
Resistência à tração (MPa)				440	Limite de Escoamento (MPa)				330	

O metal de adição selecionado foi o arame tubular inoxidável martensítico utilizado na construção e recuperação de componentes de turbinas Francis, Kaplan e Pelton, especificado segundo a norma ASME 2007, seção II, parte C (AWS SFA 5-22) como AWS EC 410 NiMo MC. O diâmetro do

arame adotado foi de 1,2 milímetros (mm) e a composição química também fornecida pelo fabricante está apresentada na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2: Composição química do metal de adição – EC410NiMo MC (Fonte ESAB).

Elementos	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
Teor em %	0,027	0,440	0,590	0,024	0,006	12,500	4,860	0,430
Resistência à tração: 910 MPa				Limite de Escoamento: 830 MPa				

3.2 EQUIPAMENTOS

Um grande número de equipamentos foi organizado para compor a bancada de experimentos. A Figura 11 apresenta esquematicamente a bancada utilizada durante a soldagem e a Tabela 3 os equipamentos utilizados.

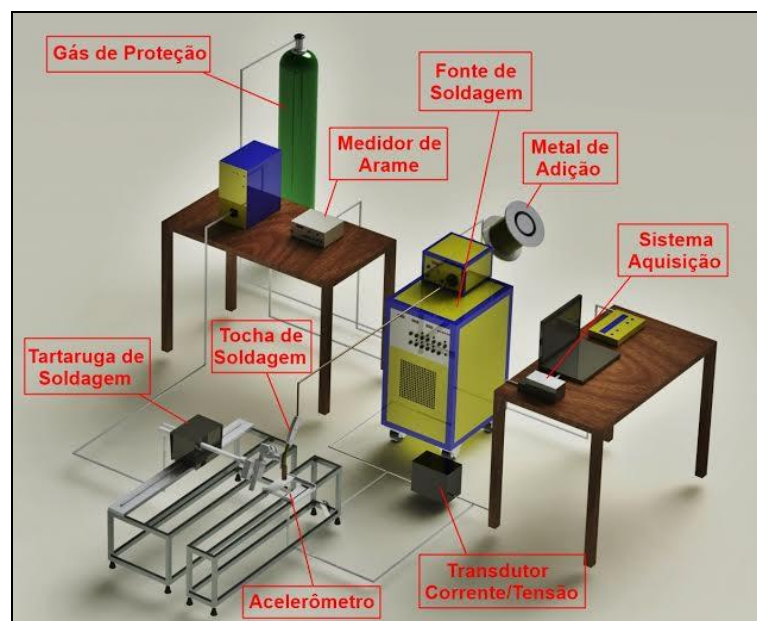


Figura 11: Distribuição e Localização dos Equipamentos Utilizados.
Fonte: Autoria Própria.

Tabela 3: Equipamentos utilizados na bancada de ensaios. (Fonte: Autoria própria)

EQUIPAMENTO	MODELO	FABRICANTE	OBSERVAÇÕES
Fonte de soldagem multiprocesso	Inversal 450	IMC soldagem	- Corrente: contínua ou alternada; - Corrente nominal: 450A (amperes); - Tensão de entrada: 220, 380 ou 440V (volts) trifásica.
Tocha reta refrigerada a água	Tocha MIG Reta TBI 511 AUT-2,0m	TBI	- Diâmetro utilizável: 1,2 a 2,4 mm (milímetros)
Carro motriz: tartaruga de soldagem com deslocamento controlável nos eixos X e Y	Tartilope V2	SPS – Sistema e Processos de Soldagem	- Eixo X: velocidade até 160 cm/min (centímetros por minuto) - Eixo Y: velocidade até 300 cm/min (centímetros por minuto)
Sistema de alimentação de arame	STA-20 / digital	IMC/LABSOLDA - UFSC	-

Outros equipamentos também foram fundamentais na preparação dos corpos de prova e coleta de dados iniciais necessários para formular os resultados. Na Tabela 4 estão descritos estes demais equipamentos utilizados.

Tabela 4: Demais instrumentos utilizados. (Fonte: Autoria própria)

EQUIPAMENTO	MODELO	FABRICANTE	OBSERVAÇÕES
Forno mufla para aquecimento	NT-380	Novatécnica	- Faixa de temperatura: 100 a 110°C (graus celsius)
Gabinete de jateamento por sucção	GS-9075X	CMV Indústrias Mecânicas	-
Serra de fita contínua	FM-335	Franho	-
Termômetro infravermelho digital portátil	ITTI-1600	INSTRUTEMP	- Faixa de temperatura: -32 a 1650°C (graus celsius).

Na pesquisa bibliográfica relacionada a este trabalho, algumas obras foram encontradas, e a pesquisa partiu de pontos já definidos inicialmente, como por exemplo, buscas sobre o método de soldagem por arame tubular, e assim tópicos relacionados também foram se destacando.

Este trabalho foi realizado em parceria com a tese de doutorado do professor Celso Alves Corrêa, orientador também deste trabalho, e as variáveis empregadas nos ensaios já foram delimitadas e determinadas segundo

procedimentos experimentais embasados pelo método Taguchi e pesquisas bibliográficas em diversas fontes: (MACHADO, 1996; BRAGA, 1997; BARRA, 1998; MARQUES, 2009; NORRISH, 2006; RAPPL, 2009; PALLANI et al, 2006).

Os ensaios realizados são soldagens de deposição com um único cordão de solda pelo método de arame tubular, isso devido a grande maioria dos trabalhos abordarem este tema e apresentarem os parâmetros buscados. A Tabela 5 a seguir apresenta os parâmetros de soldagem determinados como constantes:

Tabela 5: Parâmetros e níveis mantidos constantes durante a soldagem.
(Fonte: Autoria Própria)

PARÂMETRO	NÍVEL
Polaridade do Eletrodo	CCEP
Gás de Proteção	98% Argônio + 2% Oxigênio
Vazão do Gás	18 litros por minuto
Ângulo da Tocha	90°
Posição de Soldagem	Plana
Temperatura de Interpasse	150 °C
Velocidade de Alimentação do Arame	8,5 metros por minuto
Quantidade de Cordões	01

Foram ainda realizados alguns ensaios preliminares de soldagem para verificar se os níveis determinados preliminarmente seriam mantidos ou alterados durante a fase final dos experimentos. Após estes ensaios preliminares os níveis das variáveis de influência da soldagem aplicadas na soldagem de revestimento estão apresentados na Tabela 6 abaixo.

Tabela 6: Variáveis de influência da soldagem e níveis. (Fonte: Autoria própria)

Variáveis/Níveis	-1	1
Corrente Média de Soldagem (Amperes)	200	230
Distância Bico Contato Peça (mm)	30	36
Velocidade de Soldagem (mm/min.)	300	400

Os corpos de prova foram retirados das barras trefiladas do aço SAE 1020 (metal de base) e foram cortadas nas dimensões 185,00 mm (milímetros) de comprimento; 63,50 mm (milímetros) de largura e 12,70 mm (milímetros) de espessura.

Após esse processo de dimensionamento e antes de serem soldados, os corpos de prova passaram por um jateamento abrasivo com granalha de aço angular G-25 S-280, com o objetivo de deixar a superfície completamente limpa, sem qualquer resíduo de graxa, óleo ou contaminantes que pudessem interferir na qualidade ou parâmetros de análise da solda. Para esse jateamento foi utilizado o gabinete por sucção da CMV, modelo GS-9075X.

Para uma melhor diluição do cordão de solda e evitar a presença do hidrogênio na soldagem os corpos de prova foram aquecidos em um forno mufla a 200°C. Ao alcançar esta temperatura, ocorreu a transferência dos corpos de prova à bancada de ensaios e posicionados no dispositivo de fixação. Posteriormente, a temperatura foi monitorada com um termômetro infravermelho digital, que, ao atingir a temperatura de interpasse desejada (150°C), era realizada a soldagem. Este procedimento de aquecimento e monitoramento da temperatura foi adotado em todas as amostras.

3.3 SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE IMAGENS 3D

O sistema de aquisição de imagens de baixo custo *off line* é composto por uma webcam C920 Logitech e um laser vermelho HLM 1230, descritos no item 3.2, sendo a câmera e o laser fixados na mesma posição, e a peça a ser escaneada é movimentada através da mesa de deslocamento linear com velocidade de 500 mm/min.

A técnica de triangulação utilizando um laser consiste na projeção de uma linha sobre o objeto, e a luz é refletida em uma determinada direção e captada por uma câmera. Na movimentação do objeto o ângulo de reflexão é alterado, e de acordo com essa alteração também a posição do ponto refletido na

imagem da câmara é alterada. O ângulo entre o sensor e a câmara é ajustado de forma apropriada de modo a que o ponto iluminado pelo laser permita obter valores precisos de medida da distância entre o sensor e o objeto a ser medido. A Figura 12 abaixo mostra o laser aplicado na peça.

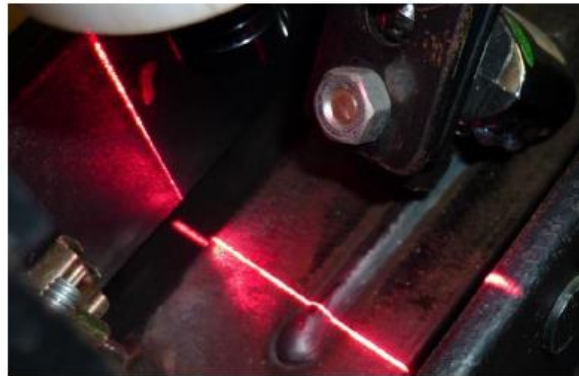


Figura 12: Laser aplicado no cordão de solda.
Fonte: Autoria própria

Após o reconhecimento da câmara, adquirem-se as imagens e o software MatLab arquiva a sequência das mesmas, para posterior reconstrução do cordão 3D de solda. Como todas as peças tem a mesma espessura (12,7 mm) esta dimensão foi utilizada na calibração para transformar pixels para milímetros. Seleciona-se o arquivo desejado, gera-se a imagem do cordão e o resultado é apresentado em perfil 3D conforme mostra a Figura 13 abaixo. Após o processamento das imagens os resultados da largura, reforço, índice de convexidade e área do reforço de cada ensaio são processados e transformados em uma tabela com os resultados para cada ensaio. A velocidade de escaneamento foi mantida constante em 500mm/min para manter a homogeneidade da quantidade de imagens adquiridas em todas as amostras.

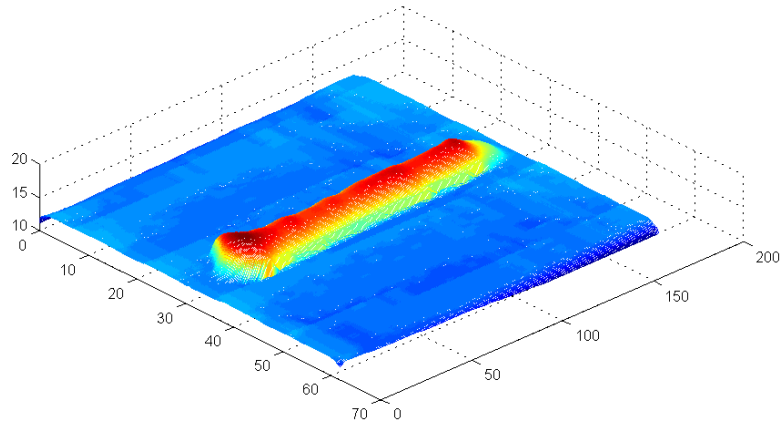


Figura 13: Cordão de solda reconstruído em 3D.
Fonte: Autoria própria.

4 RESULTADOS

Foram utilizados os resultados de 4 peças disponibilizadas pelo Prof. Me. Celso Alves Corrêa. Essas peças já possuem uma denominação inicial, porém, para uma melhor visualização desses resultados, foram denominados novamente de peça 1 a 4.

- Peça 1 = Peça 79
- Peça 2 = Peça 89
- Peça 3 = Peça 54
- Peça 4 = Peça 83

Na soldagem de revestimento o objetivo principal é obter a maior largura possível para diminuir a quantidade de cordões a serem aplicado na área de revestimento, um reforço com altura suficiente para se obter resistência mecânica ao impacto das partículas que o atingirem. A área do reforço deve ser a maior possível para resistir por mais tempo ao desgaste e um índice de convexidade em torno de 30% para melhorar a morfologia do cordão e as propriedades de desgaste.

Os resultados da morfologia do cordão (largura, reforço, área do reforço e o índice de convexidade) estão apresentados na Tabela 7 abaixo, sendo que estes valores são a média dos resultados do comprimento do cordão entre 30 e 130 mm em todas as amostras. Os resultados de todas as medidas obtidas com o sistema 3D estão apresentados no Anexo 1.

Tabela 7: Resultados da morfologia do cordão.

NUMERO	CORRENTE SOLDAGEM	VELOCIDADE SOLDAGEM	DBCP	REFORÇO MÉDIO	LARGURA MÉDIA	ÁREA REFORÇO MÉDIA	INDICE CONVEXIDADE MÉDIO
Peça	Amperes	mm/min.	mm	mm	mm	mm ²	%
1	200	300	30	4,2321	10,8820	33,1504	39,2092
2	200	400	36	3,2471	9,3559	18,7116	34,7465
3	230	300	36	2,9257	8,8865	21,6029	32,7178
4	230	400	30	3,6000	13,1731	31,5296	27,3729

Fonte: Autoria própria

De acordo com a Tabela 7 os valores do reforço ficaram entre 2,92577 e 4,2321mm, a largura entre 8,8865 e 13,1731, a área do reforço entre 18,7116 e 31,5296, e o índice de convexidade entre 27,3729% e 39,2092%. A maior largura obtidas nos resultados foi com corrente de 230 amperes, velocidade de soldagem de 400mm/min. e distância bico peça de 30mm. Para uma melhor compreensão dos resultados da Tabela 7, os mesmos serão apresentados e discutidos através de figuras a seguir Na soldagem de revestimento os melhores resultados foram obtidos na corrente de 230 amperes.

Entretanto, na Figura 14 apresenta-se os resultados do reforço dos corpos de prova, na Figura 15 os resultados da largura, na Figura 16 da área do reforço e na Figura 17 o Índice de convexidade. Nas Figuras de 14 a 17 sempre no início de do cordão há um crescimento nos resultados, sendo que este fato se deva a fonte de solda estar iniciando o arco elétrico e ainda o processo e soldagem não se estabilizou, na sequência a fonte de soldagem se estabiliza e mantém o arco elétrico, e no final do cordão a fonte cessa o arco gradativamente, por este motivo foi considerado em todos os resultados o comprimento entre 30 e 130mm.

Podemos observar que na Figura 14, os resultados do reforço em todas as condições de soldagem de acordo com o comprimento do cordão de solda, e como resultado esperado em correntes menores o reforço foi maior, pois com uma menor energia do arco elétrico o reforço tende a ser maior. Ainda nesta figura verificamos que na condição de 230 amperes, veloc. de soldagem de 400mm/min. e distância bico de contato peça o comportamento foi mais estável (3,6000mm).



Medidas das características geométricas dos cordões para o reforço do cordão. (Corrente de 200 amperes, Velocidade de Soldagem de 300mm.min, DBCP 30mm)



Medidas das características geométricas dos cordões para o reforço do cordão. (Corrente de 200 amperes, Velocidade de Soldagem de 400mm.min, DBCP 36mm)

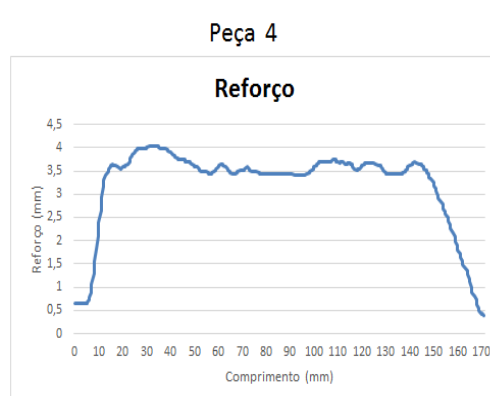
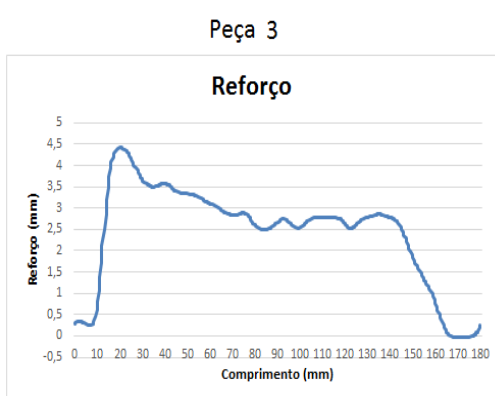
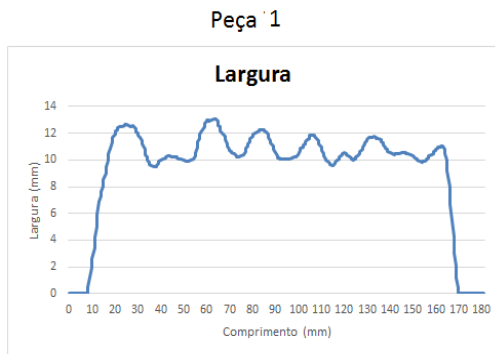
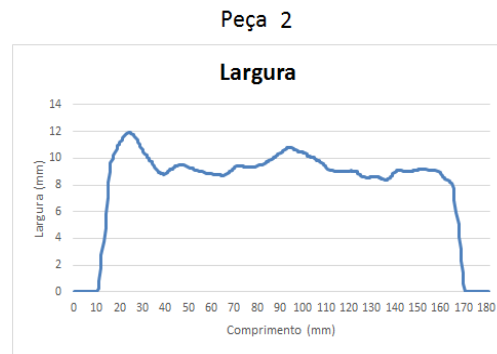


Figura 14: Gráficos Reforço x Comprimento.
Fonte: Autoria própria.

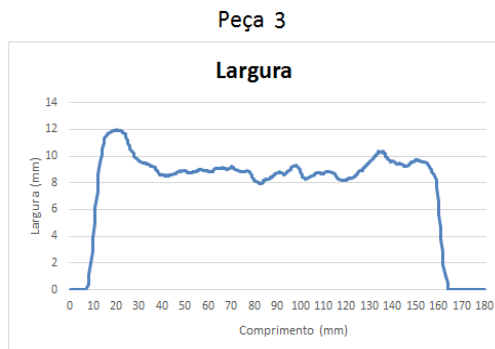
Já a Figura 15 abaixo apresenta o resultado da largura com o comprimento de soldagem, observamos que a largura foi muito irregular na corrente de soldagem de 200 amperes e veloc. de soldagem de 300mm/min. Na corrente de 230 amperes e veloc. de soldagem de 400mm/min. foi obtida a maior largura, variando entre 12 e 13mm, este resultado se deve a maior energia do arco elétrico nesta corrente, propiciando uma maior aquecimento na ponta do eletrodo, diminuindo o reforço e aumentando a largura, situação adequada para a soldagem de revestimento.



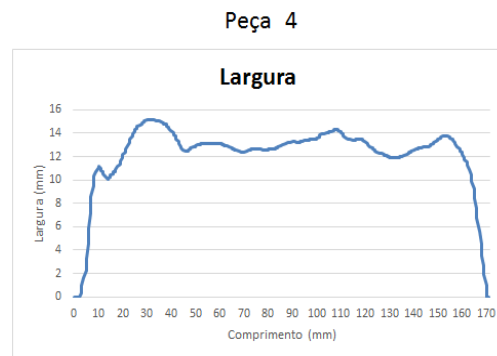
Medidas das características geométricas dos cordões para a largura do cordão. (Corrente de 200 amperes, Velocidade de Soldagem de 300mm.min, DBCP 30mm)



Medidas das características geométricas dos cordões para a largura do cordão. (Corrente de 200 amperes, Velocidade de Soldagem de 400mm.min, DBCP 36mm)



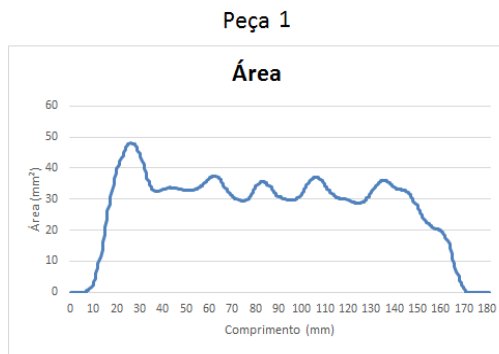
Medidas das características geométricas dos cordões para a largura do cordão. (Corrente de 230 amperes, Velocidade de Soldagem de 300mm.min, DBCP 36mm)



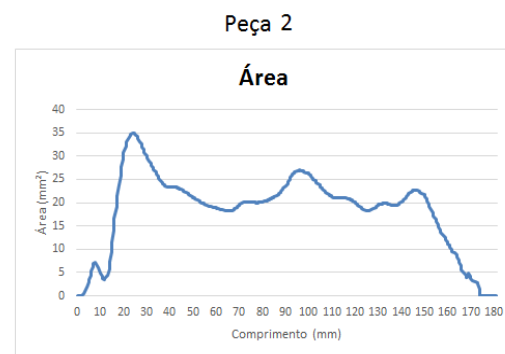
Medidas das características geométricas dos cordões para a largura do cordão. (Corrente de 230 amperes, Velocidade de Soldagem de 400mm.min, DBCP 30mm)

Figura 15: Gráficos Largura x Comprimento.
Fonte: Autoria própria.

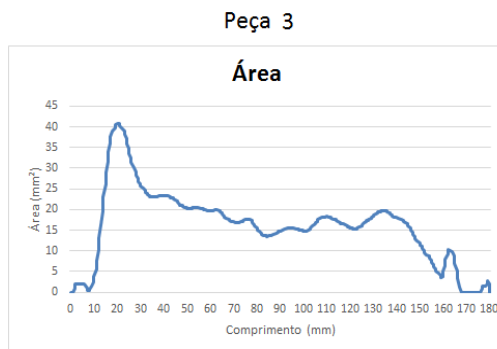
Porém a Figura 16 apresenta os resultados da área do reforço do cordão de solda em relação ao comprimento, que depende diretamente da largura e do reforço do cordão de solda. O comportamento mais estável deste resultados foi na corrente de 230 amperes e veloc. de soldagem de 400mm/min, que foi discutido anteriormente no reforço e largura do cordão de solda. Observamos ainda que na corrente de 200 amperes o comportamento foi irregular e na corrente de 230 amperes e veloc. de soldagem de 300 mm/min. há um decrescimo na área do reforço no decorrer do cordão.



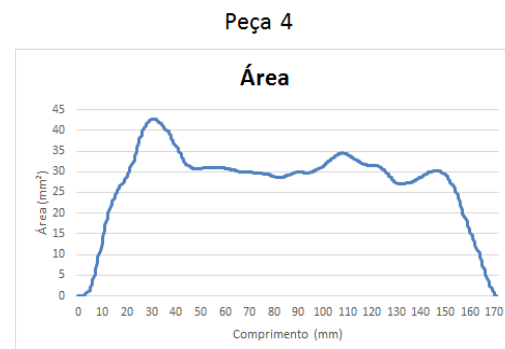
Medidas das características geométricas dos cordões para a área do cordão. (Corrente de 200 amperes, Velocidade de Soldagem de 300mm.min, DBCP 30mm)



Medidas das características geométricas dos cordões para a área do cordão. (Corrente de 200 amperes, Velocidade de Soldagem de 400mm.min, DBCP 36mm)



Medidas das características geométricas dos cordões para a área do cordão. (Corrente de 230 amperes, Velocidade de Soldagem de 300mm.min, DBCP 36mm)

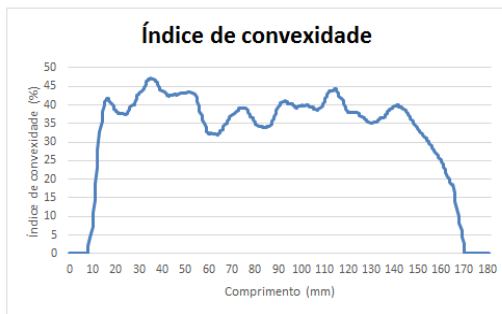


Medidas das características geométricas dos cordões para a área do cordão. (Corrente de 230 amperes, Velocidade de Soldagem de 400mm.min, DBCP 30mm)

Figura 16: Gráficos Área x Comprimento.
Fonte: Autoria própria

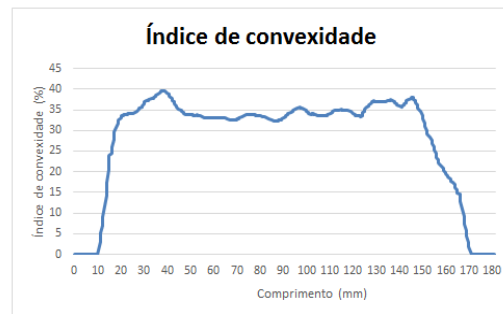
A Figura 17 abaixo apresenta o Índice de Convexidade do cordão de solda em razão do comprimento. De acordo com a literatura pesquisada [BARROS & COSTA (2003), NASCIMENTO (2005), OLIVEIRA & COSTA (2007), DIAS et al (2010), GARCIA (2011)] os Índices de Convexidades ideais devem estar próximos a 30%, resultados este obtido na corrente de 230 amperes e veloc. de soldagem de 400mm/min, que também apresenta o cordão mais estável. Nas outras condições de soldagem os cordões se comportaram de maneira irregular, tendo maior oscilação nos resultados, que pode ser explicado pela falta de energia Joule na ponta do arame com menor aquecimento da mesma.

Peça 1



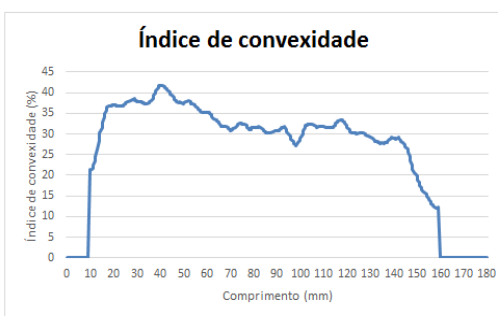
Medidas das características geométricas dos cordões para o índice de convexidade do cordão. (Corrente de 200 amperes, Velocidade de Soldagem de 300mm.min, DBCP 30mm)

Peça 2



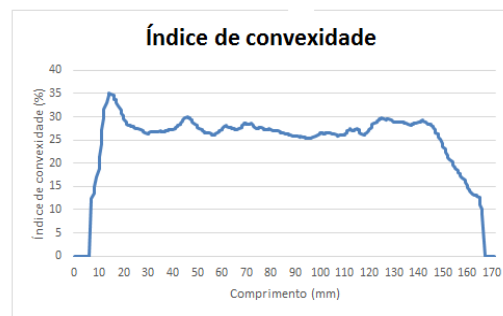
Medidas das características geométricas dos cordões para o índice de convexidade do cordão. (Corrente de 200 amperes, Velocidade de Soldagem de 400mm.min, DBCP 36mm)

Peça 3



Medidas das características geométricas dos cordões para o índice de convexidade do cordão. (Corrente de 230 amperes, Velocidade de Soldagem de 300mm.min, DBCP 36mm)

Peça 4



Medidas das características geométricas dos cordões para o índice de convexidade do cordão. (Corrente de 230 amperes, Velocidade de Soldagem de 400mm.min, DBCP 30mm)

Figura 17: Gráficos Índice de convexidade x Comprimento.

Fonte: Autoria própria

Ainda com base nos resultados obtidos para as variáveis de interesse (largura, reforço, área do reforço e índice de convexidade) foram elaboradas as Tabelas de 8 a 11 que tem o desvio padrão e a variância destes resultados. Na Tabela 8 que apresenta os dados da largura do cordão observamos que o maior desvio padrão da largura foi de 0,3540 e a maior variância também neste ensaio com 0,1792 obtidas na corrente de 200 amperes e veloc. de soldagem de 300mm/min., sendo estes resultado comprovados graficamente na Figura 15 da largura, portanto nesta condição de soldagem houve uma grande variação dimensional, causando grande variabilidade das amostras, causado por um arco instável.

Ainda na Tabela 8 as outras condições de soldagem obtiveram valores menores de desvio padrão e variância, comprovados graficamente na Figura 8, sendo que nos outros três ensaios possivelmente houve uma menor variabilidade das amostras, e que como na soldagem de revestimento o

objetivo é maximizar a largura, utilizaríamos a corrente de 230 amperes e veloc. de soldagem de 400 mm/min. onde se obteve uma largura média de 13,1731mm.

Tabela 8: Comparativo da Largura.

NUMERO	CORRENTE SOLDAGEM	VELOCIDADE SOLDAGEM	DBCP	LARGURA MÉDIA	DP MÉDIO	VARIANCIA MÉDIA
Peça	Amperes	mm/min.	mm	mm		
1	200	300	30	10,8820	0,3540	0,1792
2	200	400	36	9,3559	0,1348	0,0261
3	230	300	36	8,8865	0,1604	0,0343
4	230	400	30	13,1731	0,1615	0,0420

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 9 abaixo apresenta os resultados do reforço, o desvio padrão e a variância. Observamos que em correntes maiores o reforço diminuiu, fato este devido a maior aquecimento por energia joule na ponta do eletrodo, fazendo com que parte deste material mais aquecido se desloque para a largura do cordão de solda. Também observamos na Tabela 9 que em nas amostras de 230 amperes o desvio padrão e a variância foram menores que na corrente de 200 amperes, já comprovados graficamente na Figura 14.

Tabela 9: Comparativo do Reforço.

NUMERO	CORRENTE SOLDAGEM	VELOCIDADE SOLDAGEM	DBCP	REFORÇO MÉDIO	DP MÉDIO	VARIANCIA MÉDIA
Peça	Amperes	mm/min.	mm	mm		
1	200	300	30	4,2321	0,0545	0,0052
2	200	400	36	3,2471	0,0482	0,0033
3	230	300	36	2,9257	0,0424	0,0023
4	230	400	30	3,6000	0,0390	0,0022

Fonte: Autoria própria.

Os resultados da área do reforço, seu desvio padrão e a variância são apresentados na Tabela 10, e observando a Figura 16 em todas as condições de soldagem o comportamento da área do reforço foi irregular. O desvio padrão diminuiu com o aumento da corrente, embora a variância não tenha um comportamento regular. O menor desvio padrão (0,4595mm) foi

obtido na corrente de 230 amperes e veloc. de soldagem de 400mm/min. com variância de 0,4110mm com possivelmente um arco mais estável do que nas outras condições de soldagem.

Tabela 10: Comparativo da Área do Reforço.

NUMERO	CORRENTE SOLDAGEM	VELOCIDADE SOLDAGEM	DBCP	ÁREA REFORÇO MÉDIO	DP MÉDIO	VARIANCIA MÉDIA
Peça	Amperes	mm/min.	mm	mm ²		
1	200	300	30	33,1504	0,9966	1,7053
2	200	400	36	21,6029	0,5219	0,3833
3	230	300	36	18,3822	0,4610	0,3212
4	230	400	30	31,5296	0,4595	0,4110

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 11 abaixo apresenta o Índice de Convexidade dos ensaios, o desvio padrão médio e a variância média. Nesta tabela verificamos que os valores do Índice de Convexidade diminuíram com o aumento da corrente e de acordo com a literatura os valores próximos a 30% estão situados na corrente de 230 amperes. Este fato se deve ao maior efeito Joule com maior aquecimento na ponta do eletrodo fazendo com que a morfologia do cordão se distribua melhor na largura e reforço. Observamos ainda que o desvio padrão e a variância média menores foram obtidas na corrente de 230 amperes com velocidade de soldagem de 400mm/min.

Tabela 11: Comparativo do Índice de Convexidade.

NUMERO	CORRENTE SOLDAGEM	VELOCIDADE SOLDAGEM	DBCP	ÍNDICE CONVEXIDADE MÉDIO	DP MÉDIO	VARIANCIA MÉDIA
Peça	Amperes	mm/min.	mm	%		
1	200	300	30	39,2092	1,0332	1,5876
2	200	400	36	34,7465	0,4144	0,2455
3	230	300	36	32,7178	0,6653	0,6002
4	230	400	30	27,3729	0,3915	0,2197

Fonte: Autoria própria.

De acordo com os ensaios realizados e os resultados apresentados através das Figuras 14 a 17 e das Tabelas 8 a 11, visando a soldagem de

revestimento onde o objetivo é obter a maior largura possível e um índice de convexidade próximo a 30%, a melhor condição de soldagem foi conseguida com corrente média de 230 amperes, velocidade de soldagem de 400mm/min. e distância bico de contato peça de 30mm, sendo estes resultados comprovados estatisticamente com os valores do desvio padrão e da variância média.

5 CONCLUSÃO

Devido as medições dos resultados deste trabalho, estão apresentados abaixo as conclusões, com base nas discussões e teorias encontradas a partir da revisão bibliográfica. As variáveis de influência e suas interações foram importantes para controlar o processo, possibilitando chegar à resultados satisfatórios.

- O sistema desenvolvido de aquisição e o processamento das imagens digitais em 3D é capaz de dimensionar as características da morfologia do cordão de solda com precisão de maneira eficaz.
- Para o conjunto de amostras utilizado, a melhor condição para a soldagem de revestimento, com maior largura e índice de convexidade próximos a 30% foi obtida com a corrente de 230 amperes, velocidade de soldagem de 400 mm/min. e distancia bico de contato peça de 30 mm.
- A estatística aplicada com o desvio padrão e variância média mostrou-se nos resultados eficaz determinado a variabilidade das amostras e auxiliando a comprovação dos resultados.

6 REFERÊNCIAS

ANDREUCCI, R. **Apostila de líquidos penetrantes – Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos e Inspeção**. 2016

AKHTAR, A. **Field welding of stainless steel hydraulic turbines**. Water Power & Dam Construction, p. 21-25, 1985.

BARBOSA, R. P. **Metalurgia da soldagem, soldabilidade dos materiais. Material da Matéria Tecnologia Mecânica**. Centro Universitário do Leste de Minas Gerais. Coronel Fabriciano, MG. 2007.

BARRA, R. S. **Influência dos Procedimentos de Soldagem sobre a Resistência à Cavitação de Depósitos Obtidos com a Utilização de Arames Tubulares de Aços Inoxidáveis Ligados ao Cobalto**. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, 1998. 122p.

BRAGA, E. **Soldagem a Arame Tubular Autoprotégido em Corrente Pulsada**. 1997. 104 fl. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará. Belém.

CHU, H.H.; WANG, Z.Y. **A vision-based system for post-welding quality measurement and defect detection**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v.82, n.01, p.1-8, 2016.

CRUZ, J.A.G.; TORRES, E.M.M.; ALFARO, S.C.A. **Modeling and control of weld height reinforcement in the GMAW process**. In: XXIII International Congress of Mechanical Engineering, Rio de Janeiro-RJ, v.1, 8p., 2015.

EKKEL, T.; SCHMIK, J.; LUHMANN, T.; HASTEDT, H. **Precise laser-based optical 3d measurement of welding seams under water.** The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W5, p.117-122, 2015.

FORTES, C. **Apostila de Arames Tubulares - ESAB.** 2004. Disponível em:<http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901098rev1_apostilaaramestubulares_ok.pdf>. Acesso em: 29 set 2016.

GIRALDO, J. (1997). **Aspectos básicos del control de calidad de estructuras metálicas soldadas.** Proceedings of Aciem. ISSN: 0120-4904 ed: v.1 fasc.1 pp.10 - 15.

GOMES, J.H.F.; COSTA S.C.; PAIVA, A.P.; BALESTRASSI, P.P. **Mathematical Modeling of Weld Bead Geometry, Quality, and Productivity for Stainless Steel Claddings Deposited by FCAW.** Journal of Materials Engineering and Performance, v.21, n.9, p.1862-1872, 2012

HOUT, P. **Weld process monitoring.** Quality Magazine – Special Section, v.52, n.08, p.12-15, 2013.

KIM, Y-S; EAGAR, T.W. **Analysis of Metal Transfer in Gas Metal Arc Welding.** Welding Journal, v.72, n.6, p.269-278, 1993.

KUMAR V., KHAMBA, J. S. E MOHAN, N. (2011). **Development and characterization of fluxes for submerged arc welding.** Doctor of Philosophy thesis, Universidad Punjabi, Patiala, India, 103 -113.

MACHADO, I. G. **Soldagem e Técnicas conexas: processos.** Porto Alegre: ed. do autor, 1996. 477p.

MARQUES, P. V. **Proteção de turbinas hidráulicas contra o desgaste cavitacional.** Soldagem e Inspeção, São Paulo, v.8, n.2, p. 47-59, 2003.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. 3ª Ed. Belo Horizonte, Minas Gerais: UFMG, 2009. 362 p. (Didática) ISBN 9788570417480.

MODENESI, P. J.; MARQUES, P.V.; SANTOS, D. B. **Introdução à metalurgia da soldagem**. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte, MG. 2012.

MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem – Fundamentos e Tecnologia**. 2 ed. 2010. Editora UFMG. Belo Horizonte, MG.

NORRISH, J. **Advanced Welding Processes: Technologies and process control**. Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited, 2006. 288p.

PALANI, P. K.; MURUNGAN, N. **Sensitivity Analysis for Process Parameters in Cladding of Stainless Steel by Flux Cored Arc Welding**. Journal of Manufacturing Processes, v.8, n.2, p.90-100, 2006b.

RAPPL, J. **Pulsed Technology Increases Cladding Travel Speed**, Welding Journal, v.88, n.1, p.52-54, 2009.

RODRIGUES, L. O. **Análise e otimização de parâmetros na soldagem com arame tubular**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, MG. 2005

MODENESI, P. J.; STARLING, C. M. D. **Proposição de Modelo para a Fusão de Arames Tubulares**, Soldagem & Inspeção, Vol. 12, No. 3, pp. 168-178. 2007.

ZIEDAS, S.; TATINI, I. **Coleção Tecnologia SENAI: Soldagem**. São Paulo. 1997.

ANEXO A

- **Peça 1**

corrente	velocidade	DBCP	
amperes	mm/min	mm	
200	400	36	
comprimento	média ref.	dp ref.	var ref.
30 - 35	4,910907186	0,188851046	0,035664718
35 - 40	4,402486666	0,060542127	0,003665349
40 - 45	4,377866397	0,00169021	2,85681E-06
45 - 50	4,331255207	0,027898417	0,000778322
50 - 55	4,291097873	0,024758992	0,000613008
55 - 60	4,187358096	0,013698927	0,000187661
60 - 65	4,14265916	0,044654104	0,001993989
65 - 70	4,004498812	0,020189969	0,000407635
70 - 75	4,099872478	0,043448581	0,001887779
75 - 80	4,151264303	0,001613341	2,60287E-06
80 - 85	4,136922398	0,004514263	2,03786E-05
85 - 90	4,081467034	0,050984101	0,002599379
90 - 95	4,171103938	0,156743597	0,024568555
95 - 100	4,5578573	0,033706395	0,001136121
100 - 105	4,419218888	0,075435463	0,005690509
105 - 110	4,157479128	0,069461471	0,004824896
110 - 115	3,895261305	0,087108771	0,007587938
115 - 120	3,916774162	0,098033456	0,009610559
120 - 125	4,198114525	0,049784574	0,002478504
125 - 130	4,208870953	0,03707861	0,001374823
comprimento	média larg.	dp larg.	var larg.
30 - 35	10,93695037	0,794867453	0,631814268
35 - 40	9,699207692	0,22591392	0,051037099
40 - 45	10,24694439	0,06800296	0,004624403
45 - 50	10,02109192	0,110979786	0,012316513
50 - 55	10,65419019	0,753958638	0,568453628
55 - 60	12,8184615	0,278522358	0,077574704
60 - 65	12,27250317	0,65359887	0,427191483
65 - 70	10,51903438	0,275024542	0,075638499
70 - 75	10,95295566	0,529041858	0,279885287
75 - 80	12,13556899	0,1067678	0,011399363
80 - 85	11,12545715	0,66292749	0,439472856
85 - 90	10,08333473	0,029040594	0,000843356
90 - 95	10,53148294	0,342773334	0,117493559
95 - 100	11,64829673	0,214717177	0,046103466
100 - 105	10,48880216	0,588612552	0,346464736
105 - 110	9,957070749	0,336947027	0,113533299
110 - 115	10,26650642	0,211427024	0,044701387

115 - 120	10,89426959	0,481817205	0,232147819
120 - 125	11,63406981	0,111784283	0,012495726
125 - 130	10,75377868	0,303777428	0,092280726
comprimento	média área	dp área	var área
30 - 35	39,08515065	3,870085932	14,97756512
35 - 40	32,81138003	0,342081904	0,117020029
40 - 45	33,53458506	0,141934603	0,020145432
45 - 50	33,03325574	0,14285468	0,02040746
50 - 55	33,5882224	0,624618066	0,390147728
55 - 60	36,69383201	0,795201076	0,632344751
60 - 65	34,61249664	1,837586098	3,376722666
65 - 70	30,17934374	0,693139719	0,480442671
70 - 75	31,09240276	1,488089972	2,214411765
75 - 80	35,19785907	0,492442518	0,242499634
80 - 85	32,06801317	1,35852728	1,845596372
85 - 90	29,85048028	0,170948243	0,029223302
90 - 95	31,87812092	1,658768971	2,7515145
95 - 100	36,53339822	0,626410103	0,392389617
100 - 105	33,6206267	1,578499367	2,491660253
105 - 110	30,25367851	0,325551963	0,105984081
110 - 115	29,14254009	0,444956582	0,19798636
115 - 120	30,33989231	1,36934609	1,875108715
120 - 125	35,13544158	0,999202383	0,998405403
125 - 130	34,35773841	0,973194381	0,947107304
comprimento	média IC	dp IC	var IC
30 - 35	45,14341245	1,545885031	2,389760528
35 - 40	45,46428953	1,418359242	2,011742939
40 - 45	42,74665302	0,280929468	0,078921366
45 - 50	43,22639719	0,207692325	0,043136102
50 - 55	40,71282113	2,780111898	7,729022164
55 - 60	32,74761321	0,939973711	0,883550578
60 - 65	33,94982533	1,510880709	2,282760517
65 - 70	38,13580368	0,83403782	0,695619085
70 - 75	37,56639115	1,391845824	1,937234796
75 - 80	34,22084265	0,319243726	0,101916557
80 - 85	37,42009615	2,199851239	4,839345472
85 - 90	40,49790133	0,497583697	0,247589535
90 - 95	39,65504717	0,291186938	0,084789833
95 - 100	39,18171231	0,502025767	0,252029871
100 - 105	42,30840924	1,594074962	2,541074983
105 - 110	41,93418967	2,001479891	4,005921754
110 - 115	37,97001081	0,155957626	0,024322781
115 - 120	36,01617839	0,725581696	0,526468798
120 - 125	36,10195322	0,70673509	0,499474488
125 - 130	39,18440872	0,760602091	0,57851554

- Peça 2

CORRENTE	VELOCIDADE	DBCP	
Amperes	mm/min	mm	
200	400	36	
comprimento	média ref.	dp ref.	var ref.
30 - 35	3,755473961	0,100251581	0,01005038
35 - 40	3,512454065	0,036427003	0,001326927
40 - 45	3,361328352	0,053328979	0,00284398
45 - 50	3,178271239	0,055398821	0,003069029
50 - 55	3,01520172	0,047223181	0,002230029
55 - 60	2,921357527	0,010609321	0,000112558
60 - 65	2,895519905	0,024197068	0,000585498
65 - 70	3,104414641	0,06678564	0,004460322
70 - 75	3,150483608	0,005041454	2,54163E-05
75 - 80	3,173639967	0,012691716	0,00016108
80 - 85	3,342803265	0,117159559	0,013726362
85 - 90	3,722811307	0,067823876	0,004600078
90 - 95	3,623117087	0,101879039	0,010379339
95 - 100	3,343534518	0,068163697	0,00464629
100 - 105	3,17851499	0,020490567	0,000419863
105 - 110	3,14463358	0,020343448	0,000413856
110 - 115	3,047133121	0,023051351	0,000531365
115 - 120	3,127814751	0,050477352	0,002547963
120 - 125	3,156333636	0,025498902	0,000650194
125 - 130	3,188508787	0,057446377	0,003300086
comprimento	média larg.	dp larg.	var larg.
30 - 35	10,03531885	0,409243176	0,167479977
35 - 40	8,970077667	0,161081518	0,025947256
40 - 45	9,281291702	0,176537592	0,031165521
45 - 50	9,389772023	0,114332932	0,013072019
50 - 55	9,035877206	0,081473402	0,006637915
55 - 60	8,824251663	0,040029696	0,001602377
60 - 65	8,834921858	0,136418685	0,018610058
65 - 70	9,3648749	0,07507616	0,00563643
70 - 75	9,341756143	0,03142339	0,000987429
75 - 80	9,615624494	0,130696116	0,017081475
80 - 85	10,21315544	0,208582435	0,043506632
85 - 90	10,70931953	0,07103577	0,005046081
90 - 95	10,43367281	0,127152817	0,016167839
95 - 100	9,926838529	0,163807141	0,026832779
100 - 105	9,243946018	0,190763768	0,036390815
105 - 110	9,025207011	0,022572719	0,000509528
110 - 115	8,99497479	0,105309698	0,011090133
115 - 120	8,59484246	0,064420608	0,004150015

120 - 125	8,516594359	0,106520671	0,011346653
125 - 130	8,767343953	0,281434171	0,079205192
comprimento	média área	dp área	var área
30 - 35	27,79688245	1,497064687	2,241202676
35 - 40	23,93441135	0,664191018	0,441149709
40 - 45	23,09939476	0,300690718	0,090414908
45 - 50	21,45585147	0,568775263	0,3235053
50 - 55	19,78905637	0,438367276	0,192165869
55 - 60	18,78587387	0,237146643	0,05623853
60 - 65	18,3578613	0,235992987	0,05569269
65 - 70	19,87720644	0,403497902	0,162810557
70 - 75	20,06392307	0,055755677	0,003108696
75 - 80	20,70486906	0,379495637	0,144016939
80 - 85	22,78555399	1,049454806	1,10135539
85 - 90	26,32562094	0,698124655	0,487378034
90 - 95	26,0971408	0,6655647	0,44297637
95 - 100	23,28560422	0,897575154	0,805641158
100 - 105	21,26256113	0,262111375	0,068702373
105 - 110	20,83080331	0,277965597	0,077264873
110 - 115	19,14658887	0,638001054	0,407045345
115 - 120	18,81946414	0,460692563	0,212237638
120 - 125	19,71393667	0,125380524	0,015720276
125 - 130	19,92591428	0,582271843	0,3390405
comprimento	média IC	dp IC	var IC
30 - 35	37,47590545	0,529438318	0,280304932
35 - 40	39,21424287	0,406000829	0,164836673
40 - 45	36,25894528	1,271186439	1,615914964
45 - 50	33,85424231	0,228811971	0,052354918
50 - 55	33,36896396	0,240914755	0,058039919
55 - 60	33,106782	0,041631818	0,001733208
60 - 65	32,78400079	0,277236313	0,076859973
65 - 70	33,14593478	0,509464797	0,259554379
70 - 75	33,72618837	0,095265312	0,00907548
75 - 80	33,01378177	0,314676485	0,09902129
80 - 85	32,71814188	0,48872736	0,238854432
85 - 90	34,76779018	0,616529226	0,380108287
90 - 95	34,73072991	0,598194801	0,357837019
95 - 100	33,68117884	0,148675312	0,022104349
100 - 105	34,40469514	0,491714734	0,24178338
105 - 110	34,85540825	0,160657458	0,025810819
110 - 115	33,9017372	0,404059057	0,163263721
115 - 120	36,43024734	0,704532184	0,496365599
120 - 125	37,06615362	0,183631748	0,033720619
125 - 130	36,42585803	0,576915517	0,332831514

- Peça 3

CORRENTE	VELOCIDADE	DBCP	
Amperes	mm/min	mm	
230	300	36	
COMPRIMENTO	MEDIA REF.	DP REF.	VAR REF.
30 - 35	3,586751418	0,078072736	0,006095352
35 - 40	3,540989656	0,031782153	0,001010105
40 - 45	3,476853854	0,069460119	0,004824708
45 - 50	3,341301969	0,01017978	0,000103628
50 - 55	3,275432766	0,042578805	0,001812955
55 - 60	3,11283984	0,039677658	0,001574317
60 - 65	2,940193193	0,062625633	0,00392197
65 - 70	2,85178979	0,0134963	0,00018215
70 - 75	2,795280948	0,088462674	0,007825645
75 - 80	2,530764097	0,038117288	0,001452928
80 - 85	2,59212646	0,069835923	0,004877056
85 - 90	2,707570904	0,043238594	0,001869576
90 - 95	2,566818819	0,027792121	0,000772402
95 - 100	2,735305305	0,044034276	0,001939017
100 - 105	2,776906907	4,68111E-16	2,19128E-31
105 - 110	2,754719386	0,030713754	0,000943335
110 - 115	2,576872539	0,042555276	0,001810951
115 - 120	2,718664665	0,058144025	0,003380728
120 - 125	2,831335669	0,027640349	0,000763989
125 - 130	2,802907908	0,031488776	0,000991543
COMPRIMENTO	MEDIA LARG.	DP LARG.	VAR LARG.
30 - 35	9,517529412	0,126829999	0,016085849
35 - 40	8,942980392	0,276670295	0,076546452
40 - 45	8,56827451	0,058879349	0,003466778
45 - 50	8,835564706	0,060103098	0,003612382
50 - 55	8,850552941	0,093505152	0,008743213
55 - 60	8,883027451	0,059114397	0,003494512
60 - 65	9,052894118	0,033720959	0,001137103
65 - 70	9,042901961	0,118346027	0,014005782
70 - 75	8,770615686	0,158187236	0,025023202
75 - 80	8,063670588	0,121696649	0,014810074
80 - 85	8,490835294	0,183359784	0,03362081
85 - 90	8,805588235	0,149997958	0,022499388
90 - 95	8,927992157	0,372236716	0,138560173
95 - 100	8,515815686	0,170831306	0,029183335
100 - 105	8,760623529	0,048624504	0,002364342
105 - 110	8,430882353	0,232331077	0,053977729
110 - 115	8,350945098	0,124651907	0,015538098
115 - 120	9,087866667	0,289120986	0,083590945

120 - 125	10,04461569	0,278531061	0,077579552
125 - 130	9,787317647	0,251959588	0,063483634
COMPRIMENTO	MEDIA ÁREA	DP ÁREA	VAR ÁREA
30 - 35	26,83108326	1,271154185	1,615832962
35 - 40	23,20176119	0,15738829	0,024771074
40 - 45	22,84100746	0,49757342	0,247579308
45 - 50	20,74156648	0,486650245	0,236828461
50 - 55	20,35723535	0,102892065	0,010586777
55 - 60	19,82450298	0,079024195	0,006244823
60 - 65	18,64138506	0,828151522	0,830876788
65 - 70	17,02307896	0,111858248	0,012512268
70 - 75	17,18792592	0,603928783	0,364729976
75 - 80	14,14192046	0,687090796	0,472093762
80 - 85	14,24796031	0,438894267	0,192628178
85 - 90	15,38700213	0,161288637	0,026014024
90 - 95	15,01077695	0,235996856	0,055694516
95 - 100	16,58738417	1,023437032	1,047423359
100 - 105	18,10042983	0,190455135	0,036273159
105 - 110	16,79529398	0,47434792	0,225005949
110 - 115	15,58197361	0,205781849	0,04234617
115 - 120	17,30226658	0,736019013	0,541723987
120 - 125	19,37910443	0,421181294	0,177393683
125 - 130	18,46067694	0,508719353	0,25879538
COMPRIMENTO	MEDIA IC	DP IC	VAR IC
30 - 35	37,68552511	0,326798455	0,10679723
35 - 40	39,69862052	1,573915306	2,477209389
40 - 45	40,59456754	1,044001112	1,089938322
45 - 50	37,85759764	0,313341947	0,098183176
50 - 55	37,04854664	0,882547634	0,778890327
55 - 60	35,05154993	0,349379204	0,122065828
60 - 65	32,53131693	0,736664675	0,542674844
65 - 70	31,56893104	0,576902466	0,332816455
70 - 75	31,91169225	0,599538269	0,359446136
75 - 80	31,43635555	0,477126905	0,227650084
80 - 85	30,53047276	0,172447946	0,029738294
85 - 90	30,9137205	0,889944711	0,792001589
90 - 95	28,95011313	1,422620255	2,023848391
95 - 100	32,14986884	0,276062596	0,076210557
100 - 105	31,71504254	0,165823035	0,027497279
105 - 110	32,72080306	0,64604574	0,417375099
110 - 115	30,87504639	0,875740269	0,766921019
115 - 120	29,93342875	0,354594172	0,125737027
120 - 125	28,24355471	0,511362581	0,261491689
125 - 130	28,73069906	0,441427319	0,194858078

- Peça 4

CORRENTE	VELOCIDADE	DBCP	
Amperes	mm/min	mm	
230	400	30	
COMPRIMENTO	MEDIA REF.	DP REF.	VAR REF.
30 - 35	4,03025859	0,026178198	0,000685298
35 - 40	3,974811747	0,043683995	0,001908291
40 - 45	3,780747797	0,0527576	0,002783364
45 - 50	3,65137183	0,0558636	0,003120742
50 - 55	3,485031301	0,037866269	0,001433854
55 - 60	3,577442706	0,067799471	0,004596768
60 - 65	3,485031301	0,053943312	0,002909881
65 - 70	3,531237004	0,025359926	0,000643126
70 - 75	3,45730788	0,030632191	0,000938331
75 - 80	3,429584458	4,68111E-16	2,19128E-31
80 - 85	3,429584458	4,68111E-16	2,19128E-31
85 - 90	3,401861037	0,009741017	9,48874E-05
90 - 95	3,540478144	0,08856651	0,007844027
95 - 100	3,706818673	0	0
100 - 105	3,703738293	0,026971656	0,00072747
105 - 110	3,605166128	0,058174891	0,003384318
110 - 115	3,64521107	0,045919596	0,002108609
115 - 120	3,595924987	0,068418658	0,004681113
120 - 125	3,429584458	4,68111E-16	2,19128E-31
125 - 130	3,540478144	0,08856651	0,007844027
COMPRIMENTO	MEDIA LARG.	DP LARG.	VAR LARG.
30 - 35	15,12611111	0,043663667	0,001906516
35 - 40	14,725	0,269482688	0,072620919
40 - 45	13,21977778	0,565403045	0,319680604
45 - 50	12,74477778	0,202013221	0,040809342
50 - 55	13,12055556	0,040117283	0,001609396
55 - 60	13,08888889	0,080234567	0,006437586
60 - 65	12,65611111	0,163904059	0,02686454
65 - 70	12,483	0,121905369	0,014860919
70 - 75	12,60755556	0,05151957	0,002654266
75 - 80	12,71944444	0,108219472	0,011711454
80 - 85	13,15433333	0,111465423	0,01242454
85 - 90	13,29788889	0,072757654	0,005293676
90 - 95	13,58077778	0,192472933	0,03704583
95 - 100	14,09377778	0,11991904	0,014380576
100 - 105	13,93966667	0,318156577	0,101223608
105 - 110	13,46044444	0,036156951	0,001307325
110 - 115	12,93266667	0,330246281	0,109062606
115 - 120	12,20222222	0,144901461	0,020996433

120 - 125	11,92566667	0,072073827	0,005194636
125 - 130	12,38377778	0,187031683	0,03498085
COMPRIMENTO	MEDIA ÁREA	DP ÁREA	VAR ÁREA
30 - 35	42,28646001	0,454598652	0,206659935
35 - 40	38,80942815	1,612713565	2,600845042
40 - 45	33,04177483	1,495664161	2,237011283
45 - 50	30,84949524	0,078122656	0,006103149
50 - 55	30,89302516	0,01685327	0,000284033
55 - 60	30,78276338	0,138855884	0,019280957
60 - 65	30,08424341	0,193885445	0,037591566
65 - 70	29,80099864	0,041243001	0,001700985
70 - 75	29,38837181	0,243349757	0,059219104
75 - 80	28,75285262	0,108252871	0,011718684
80 - 85	29,59524137	0,2992469	0,089548707
85 - 90	29,81536066	0,125311808	0,015703049
90 - 95	31,17345742	0,697333058	0,486273394
95 - 100	33,65697857	0,676631197	0,457829777
100 - 105	33,91982711	0,524279295	0,274868779
105 - 110	32,08162597	0,45085472	0,203269979
110 - 115	31,32863419	0,294277317	0,086599139
115 - 120	28,83801502	1,049632263	1,101727887
120 - 125	27,20249982	0,135473482	0,018353064
125 - 130	28,29146379	0,554099172	0,307025893
COMPRIMENTO	MEDIA IC	DP IC	VAR IC
30 - 35	26,64439537	0,158129315	0,02500488
35 - 40	26,99721593	0,240973361	0,058068161
40 - 45	28,63163897	0,856140013	0,732975722
45 - 50	28,66247015	0,884301627	0,781989367
50 - 55	26,56248161	0,358060903	0,12820761
55 - 60	27,33488705	0,648895263	0,421065063
60 - 65	27,5366383	0,267398797	0,071502117
65 - 70	28,290854	0,346487117	0,120053322
70 - 75	27,42217545	0,161919067	0,026217784
75 - 80	26,96506572	0,228036441	0,052000618
80 - 85	26,07359068	0,221869939	0,04922627
85 - 90	25,58268487	0,163659626	0,026784473
90 - 95	26,06687834	0,347907597	0,121039696
95 - 100	26,30280977	0,223197995	0,049817345
100 - 105	26,57962779	0,501653714	0,251656448
105 - 110	26,78434498	0,486782818	0,236957512
110 - 115	28,20958009	1,035399049	1,072051191
115 - 120	29,46734343	0,239848161	0,05752714
120 - 125	28,75895026	0,172797456	0,029858961
125 - 130	28,58583412	0,286668147	0,082178626