

André Perez Jannuzzi

**ESTUDO DA DISTORÇÃO CAUSADA NO PROCESSO
DE SOLDAGEM ARCO SUBMERSO COM ARAME
SIMPLES E TWIN-ARC PARA FABRICAÇÃO DE
PERFIS ESTRUTURAIS SOLDADOS**

Monografia apresentada ao Programa de
Educação Continuada em Engenharia da Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
conclusão do curso de Especialização.

São Paulo

Maio/2015

André Perez Jannuzzi

(Engenheiro Mecânico)

**ESTUDO DA DISTORÇÃO CAUSADA NO PROCESSO
DE SOLDAGEM ARCO SUBMERSO COM ARAME
SIMPLES E TWIN-ARC PARA FABRICAÇÃO DE
PERFIS ESTRUTURAIS SOLDADOS**

Monografia apresentada ao Programa de
Educação Continuada em Engenharia da Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
conclusão de curso de Especialização.

Área de Concentração: Engenharia da Soldagem

Orientador: Me. Jaime Casanova Soeiro Junior

São Paulo

Maio/2015

"Seja melhor do que você mesmo a cada dia e todos os seus
obstáculos serão rompidos".

Domingos Jannuzzi

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho
À Antonio Cezar Jannuzzi, Preciosa Dolores Perez Jannuzzi, Denis
Perez Jannuzzi, Fernanda Silva Pereira Jannuzzi, Juliana Pereira
Jannuzzi, Ricardo Perez Jannuzzi, Daniela Ribeiro Pinho, Davi Pinho
Jannuzzi, Rayssa Carvalho Teodoro, Daucleber José Teodoro,
Luciene de Fátima Carvalho Teodoro e Renan Carvalho Teodoro.
Sem o carinho e apoio de vocês eu jamais teria concluído este
trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conduzir em todos os caminhos que me acompanham nesta jornada.

Agradeço ao meu orientador, Mestre Jaime Casanova Soeiro Jr. por toda ajuda recebida e por seus ensinamentos.

Agradeço a todos os professores, do curso de Engenharia e Especialização de Soldagem.

Agradeço a equipe de profissionais que possibilitou este estudo. Judson, Anamael, Jardel, Serjio, Lucas Fernandes e ao amigo e mestre em ciências mecânicas Alexandre Gomes Nascimento.

Agradeço a minha namorada, Rayssa Carvalho Teodoro, por todo apoio oferecido durante esses dois anos, sendo minha maior motivação a continuar por acreditar fielmente em meu potencial.

Agradeço aos meus pais que foram incansáveis em me proporcionar a melhor formação possível ao longo da minha vida, principalmente na infância onde a perseverança deles foi maior do que o meu medo.

Agradeço aos meus irmãos, que foram meus maiores exemplos os quais em sempre vou me espelhar ao longo da minha vida.

Agradeço a todos os grandes colegas que conheci nestes anos, Camila, Bruna, Rubens, Claudio, Rui, Enos e todos aqueles que me acompanharam em cada final de semana desta jornada.

Agradeço, aos colegas de trabalho, Ronan, José de Jesus, Hinara, Giovanni, Lucas Barbosa, Paulo e Alvaro por toda ajuda possível durante este ciclo.

Agradeço a empresa CPC-Construções e Processos Científicos e aos meus diretores Luis Gustavo Guimarães Farah e Fabiano Guimarães Farah que acreditaram no meu potencial e compraram este sonho comigo desde o início.

CURRICULUM VITAE

ESCOLARIDADE

- Engenheiro Mecânico

EXPERIÊNCIA PROFISSIONAL

1 – Maio/2011 a Agosto/2011:

Estágio :

Empresa: CPC-Estruturas; CNPJ: 00450577000103.

Endereço: SAAN Quadra 02 lote 310.

Telefone: 61 3361-0030.

Empresa de Contrução Civil no ramo de estrutura metálica.

Objetivo: Projeto, fabricação e montagem de estruturas metálicas.

Área de estágio: Manutenção de equipamentos e controle de

produção.

O estágio consistia em efetuar controle de manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos da fábrica. Entre eles, pontes rolantes, máquinas CNC, compressores e outros equipamentos. Na cadeia de produção fazia controle de matéria prima destinada a cada obra (perfis metálicos, cantoneiras, chapas e tubos).

2 – Agosto/2011 a Junho/2012:

Engenheiro Mecânico :

Empresa: CPC-Estruturas; CNPJ: 00450577000103.

Endereço: SAAN Quadra 02 lote 310.

Telefone: 61 3361-0030.

Empresa de Contrução Civil no ramo de estrutura metálica.

Objetivo: Projeto, fabricação e montagem de estruturas metálicas.

Área de Trabalho: Gerente de Manutenção de equipamentos.

Trabalho gerenciando a equipe de manutenção da fábrica aplicando metodologia de manutenção preventiva e corretiva nos equipamentos. Criei um banco de dados com todas as informações técnicas dos principais equipamentos da fábrica. Consegui ampliar a formação dos funcionários com cursos ministrados com foco na principal deficiência da equipe e com certificação do MEC. Contratação de funcionários qualificados para trabalhar com equipamentos industriais. A minha posição exige alta capacidade de relacionamento interpessoal e a busca constante por aprofundamento técnico dos equipamentos. Nesse sentido, trabalho com o intuito de manter a equipe motivada e procuro cursos para aumentar o aprendizado dos profissionais envolvidos.

Principais atividades realizadas:

- Análise de desenhos técnicos para fabricação de estruturas metálicas garantindo a qualidade e a eficiência do processo de produção da fábrica.
- Instalação e montagem de máquina CNC de corte de chapas.
- Dimensionamento da rede de ar comprimido.
- Análise e controle de consumo energético da empresa.
- Reforma e ampliação da subestação elétrica da fábrica.
- Restauração mecânica de furadeiras de bancada.
- Restauração mecânica de máquina CNC de corte de chapas.
- Restauração mecânica e elétrica de talhas Elétricas utilizadas em pontes rolantes.
- Fabricação e montagem de ponte rolante com capacidade para 05T e 07T.
- Planejamento e montagem de sistema mecânico que constitui uma máquina de soldagem por arco-submerso marca CMM modelo TBM 2500/1000 para produção de perfis soldados com alta qualidade.

As principais máquinas da empresa são:

- Compressor GA37 VSD marca Atlas Copco.
- Compressor GA132 VSD marca Atlas Copco.
- Máquina CNC: Corte de chapas marca ACXTEC modelo Hycut.
- Máquina CNC: Corte de chapas marca ACXTEC modelo Cutplus.
- Máquina CNC: Corte e furação de chapas marca Peddinghaus modelo FPB1800.

- Máquina CNC: Corte e furação de cantoneiras marca Peddinghaus modelo Ocean-Clipper.
- Máquina CNC: Corte e furação de perfis metálicos marca Peddinghaus modelo PCD1100.
- Máquina CN: Soldagem por arco-submerso de perfis soldados marca CMM modelo TBM 2500/1000.
- Pontes Rolantes: Marcas Vastec, TCS, Menegotti e FEBA. Com capacidades de 3 a 15 Toneladas.
- Furadeiras de bancada: Marca YADOYA modelo FY-50.
- Fonte plasma Hypertherm: Modelos HPR260 e Powermax1650.
- Fonte de máquina de soldagem por processo de arco-submerso: Marcas Lincoln e Whitemartins.

EXPERIÊNCIA ACADÊMICA

1 - Agosto/2008 a Agosto/2009: **Programa de Iniciação Científica (Bolsa CNPq)**
Área : Fadiga de Componentes Mecânicos

Título do Projeto: **Avaliação de Modelos de Previsão de Vida em Fadiga Multiaxial.**

Professor Orientador: **José Alexander Araújo**

2 – Agosto/2009 a Agosto/2010: **Programa de Iniciação Científica (Bolsa CNPq)**
Área : Fadiga de Componentes Mecânicos

Título do Projeto: **Estudo Comparativo em Modelos de Acúmulo de Dano por Fadiga.**

Professor Orientador: **Fábio Comes de Castro**

ATUAÇÃO EM MONITORIAS DE DISCIPLINAS

01/2009 **Monitoria de Mecânica dos Materiais 1**
Professor responsável: José Alexander Araújo

02/2008 **Monitoria de Mecânica dos Materiais 1**
Professor responsável: José Alexander Araújo

01/2009 **Monitoria de Projeto de Máquinas 2**
Professora responsável: Dianne Magalhães

02/2009 **Monitoria de Projeto de Máquinas 2**
Professora responsável: Dianne Magalhães

01/2010 **Monitoria de Projeto de Máquinas 2**
Professora responsável: Dianne Magalhães

SOFTWARES E LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO

Matlab, Microsoft Office, Látex, Sistema SAP R/3, SolidWorks.

ATIVIDADES EXTRA-CURRICULARES

1 - Nov 2007 – Nov 2010: **Projeto Apuama Racing – Equipe Apuama Racing UnB**
Domínio de atividades no projeto: Projeto estrutural-Chassi e Sistema de frenagem.

2 - Nov 2008: **8º CONEMI – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica e Industrial**

Local : Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília
 Participante.
 Carga Horária: 20 horas.

- 3 - Jan 2010 – Nov 2010: **Projeto Formula Universitária – Equipe Apuama racing UnB**
 Domínio de atividades no projeto: Preparação de carros para corrida, ajustes finos, regulação de motor, freios e suspensão.
- 4 - Mar 2011: **Curso de aprendizagem de utilização do Sistema SAP R/3**
 O aprendizado de utilização do sistema SAP R/3 possibilita a gestão de processos como implantação, consulta de estoque e rastreamento da mercadoria vendida por meio do software.
- 5 - Abr 2011: **Curso básico de programação de Controladores Lógicos Programáveis (CLP).**
 Aprendizado de programação de CLP e interfaces Homem-Máquina utilizados em sistemas de controle e automação de máquinas e processos industriais, ministrado pela HI Tecnologia Indústria e Comércio Ltda, na Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, num total de 17 horas.
- 6 - Maio 2012: **Curso básico de automação industrial.**
 Aprendizado de automação industrial com foco em acionamento de motores elétricos trifásicos. O curso abordou todos os conhecimentos de comandos elétricos por meio de 60 horas divididas em aulas práticas e teóricas.
 Dimensionamento de comandos elétricos.
 Partidas diretas.
 Partidas indiretas.
 Partidas eletrônicas.
 Curso ministrado pela empresa Automatize-Sistemas de automação e Segurança.

IDIOMAS

Português do Brasil	Língua Materna
Inglês	Nível Avançado
Italiano	Básico.

RESUMO

Um dos principais problemas para fabricação de estruturas metálicas é a distorção causada pelos processos de soldagem. Um caso específico de deformação é o que ocorre na fabricação de perfis soldados pelo processo de soldagem por arco-submerso com um ou dois arames. O resultado da distorção em uma linha de produção é a pratica de mais uma etapa, o desempenho. Os equipamentos de corte e furação possuem uma tolerância de 2,0 mm na peça para que não haja deslocamento de furos, para conseguir um padrão de qualidade com essa tolerância é necessário trabalhar com a menor energia de soldagem possível desde que a especificação do projeto de soldagem seja respeitada. Esse trabalho tem como objetivo estudar a deformação causada pela soldagem na fabricação de perfis soldados com o processo de soldagem arco submerso com um e dois arames de 2,4 mm de diâmetro. Para medição das deformações em cada chapa que compõe uma viga "I" foram montadas malhas de ponto em uma face de cada chapa, em seguida foram realizadas as medições de cada ponto antes da soldagem, após a soldagem que forma um "T" e ao final da soldagem que conclui a fabricação do perfil "I". A distorção causada na primeira etapa de soldagem independente da técnica com 1 ou 2 arames tende a retornar para a posição inicial após a segunda etapa de soldagem. Verifica-se que a distorção da peça aumenta de acordo com o aumento da energia de soldagem.

ABSTRACT

A major problem for the manufacture of metal structures is the distortion caused by welding processes, more specifically found in the case of distortion in the manufacture of welded beams by the welding process Submerged arc-welding with 1 or 2 wires. This work aims at studying the distortion caused by welding in manufacturing welded beams comparing the results between 1 and 2 2.4mm diameter wires. To measure the strain on each plate which comprises an "I" beam section, markings were mounted on one side of each sheet, and then measurements were made at each point before welding, after "T" welding, and in the end of the weld which completes the manufacture of the "I" beam. The result of the distortion in a production line is the practice of another stage, the straightening. Cutting and drilling equipment have a 2mm tolerance in the play so there are no holes offset. In order to achieve a standard of quality with such tolerance it is necessary to work with the lowest heat input possible since the welding design specification is respected. This work aims to study the distortion caused by welding in the manufacture of welded beams with submerged arc welding process with one and two wires 2.4 mm in diameter. To measure the distortion in each plate that compose a " I" beam were made punching points like 11X11 matrix in one side of each plate, and then measurements were made of each point before welding , after welding so that a "T " and the end of the weld which completes the manufacture of the welded beam " I" . The distortion caused in the first independent stage of welding technique with 1 or 2 wire tends to return to its initial position after the second welding step. It is noted that the distortion of the workpiece increases with increased heat input.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do equipamento da soldagem por arco submerso [3].....	5
Figura 2 - Técnica Twin-arc [1].	6
Figura 3 - Técnica de Tandem Arc [1].	6
Figura 4 - Aplicação de eletrodo em fita [1].	7
Figura 5 - Técnica de adição de pó de ferro [1].	7
Figura 6 - Variação da tensão no cordão de soldagem [1]	9
Figura 7 - Barra restrita [9].	16
Figura 8 - Distribuição típica de tensões residuais em uma soldagem de topo. (a) Sistema de coordenadas e tensões. (b) Tensões longitudinais. (c) Tensões transversais (linha tracejada: distribuição de tensões quando a solda faz parte de uma estrutura e está sujeita a tensões de reação) (Adaptado ref. [11]). ...	17
Figura 9 - Esquema de tensão longitudinal, transversal e de cordão livre contraído [9].	18
Figura 10 - Distribuição das tensões "X", "Y" e "Z" ao longo da espessura de uma solda [12].	18
Figura 11 - Distorção localizada causada por um pequeno cordão de solda entre chapas de aço inoxidável [8].	20
Figura 12 - Distorções básicas: (a) Contração transversal, (b) contração longitudinal e (c) Distorção angular [8].	21
Figura 13 - (a) Dobramento de uma viga T e (b) Flambagem em chapas finas [8].	22
Figura 14 - Rotação durante a soldagem para (a) Baixo e (b) Alto aporte térmico [8].	22
Figura 15 - Sequência de soldagem do chanfro simétrico [15].	24
Figura 16 - Efeito dos parâmetros de soldagem na deformação [9].	26
Figura 17 - Curva típica tensão-deformação, obtida a partir de ensaios de tração para aços estruturais [17].	29
Figura 18 - Parcelas do custo total para a soldagem [18].	37
Figura 19 - Tiras de chapas para confecção de perfis "I".	39
Figura 20 - Primeira execução de soldagem na confecção inicial do perfil "I"..	41
Figura 21 - Segunda execução de soldagem concluindo o perfil "I".	41
Figura 22 - Máquina de fabricação de Perfis. Fabricante CMM.	42
Figura 23 - Fonte de Soldagem Lincolnelectric DC-1000.	42
Figura 24 - Malha de pontos para medição de deformação (Anexo C).	43
Figura 25 - Ponteamento de referência.	44
Figura 26 - Ferramentas de medição.	45
Figura 27 - Deformação ocorrida na mesa 3 para os eixos Y e Z em comparação com os padrões definidos pela Norma NBR5884 e suas respectivas barras de desvio padrão.	50
Figura 28 - Ilustração da deformação para os eixos Y e Z da mesa 3 na condição inicial da chapa.	50
Figura 29 - Ilustração da deformação para os eixos Y e Z da mesa 3 na condição final da chapa.	51

Figura 30 - Deformação mesa 4 para os eixos Y e Z em comparação com os padrões definidos pela Norma NBR5884 e suas respectivas barras de desvio padrão.....	53
Figura 31 – Ilustração da condição inicial da chapa com fator de escala para a mesa 4.	53
Figura 32 - Ilustração da condição intermediária da chapa com fator de escala após a primeira soldagem para a mesa 4.	54
Figura 33 – Ilustração da condição final da chapa com fator de escala após a segunda soldagem para a mesa 4.	54
Figura 34 – Gráfico Comparativo entre a distorção da primeira e segunda soldagem.	55
Figura 35 – Deformação alma 1 para os eixos Y e Z em comparação com os padrões definidos pela Norma NBR5884 e suas respectivas barras de desvio padrão.....	57
Figura 36 – Ilustração da condição inicial da chapa com fator de escala.....	58
Figura 37 – Ilustração da condição intermediária da chapa com fator de escala após a primeira soldagem.	58
Figura 38 – Ilustração da condição final da chapa com fator de escala após a segunda soldagem.	59
Figura 39 – Comparativo entre a distorção da primeira e segunda soldagem..	60
Figura 40 – Deformação na mesa 1 para os eixos Y e Z em comparação com os padrões definidos pela Norma NBR5884 e suas respectivas barras de desvio padrão.....	62
Figura 41 – Ilustração da deformação para os eixos Y e Z da mesa 1 na condição inicial da chapa.	62
Figura 42 – Ilustração da deformação para os eixos Y e Z da mesa 3 na condição final da chapa.	63
Figura 43 – Deformação mesa 2 para os eixos Y e Z em comparação com os padrões definidos pela Norma NBR5884 e suas respectivas barras de desvio padrão.....	65
Figura 44 – Ilustração da condição inicial da chapa com fator de escala para a mesa 2.	65
Figura 45 – Ilustração da condição intermediária da chapa com fator de escala para a mesa 2.	66
Figura 46 – Ilustração da condição final da chapa com fator de escala para a mesa 2.	66
Figura 47 – Comparativo entre a distorção da primeira e segunda soldagem..	67
Figura 48 – Deformação alma 2 para os eixos Y e Z em comparação com os padrões definidos pela Norma NBR5884 e suas respectivas barras de desvio padrão.....	69
Figura 49 – Ilustração da condição inicial da chapa com fator de escala.....	70
Figura 50 – Ilustração da condição intermediária da chapa com fator de escala após a primeira soldagem.	70
Figura 51 – Ilustração da condição intermediária da chapa com fator de escala após a primeira soldagem.	71
Figura 52 – Comparativo entre a distorção da primeira e segunda soldagem..	72
Figura 53 - Comparação entre a deformação final máxima nos eixos Y e Z para os perfis soldados com 1 e 2 arames.	73

Figura 54 – Perfis soldados.	73
Figura 55 – Gráfico comparativo da energia de soldagem com a deformação intermediária e final máxima com 1 e 2 arames.....	75
Figura 56 - Custo de fabricação de perfis soldados.	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixa de corrente em função do diâmetro do arame [1].....	8
Tabela 2 - Defeitos e correções em soldagem (Adaptado da ref. [7]).....	14
Tabela 3 - Aços estruturais ASTM – Tensão em kN/cm ² [17].	30
Tabela 4 - Perfis soldados [17].....	31
Tabela 5 - Padrões de tolerância [7].....	32
Tabela 6 - Dimensão mínima para uma solda de filete [7].....	33
Tabela 7 - Variáveis típicas utilizadas na estimativa de custos para a soldagem processos de soldagem a arco elétrico [11] (Adaptado).	36
Tabela 8 - Composição química do metal de base segundo fabricante (Certificado do material no Anexo A).	39
Tabela 9 - Composição química do arame e do fluxo segundo fabricante (Certificado do consumível no Anexo B).	40
Tabela 10 - Propriedades mecânicas segundo fabricante do eletrodo consumível (Certificado do consumível no Anexo B).	40
Tabela 11 - Parâmetros CP1.....	41
Tabela 12 - Especificações técnicas da fonte de Soldagem DC-1000.	43
Tabela 13 – Definição da divisão dos experimentos.	44
Tabela 14 - Valores máximos, mínimos e médios das deformações ocorridas.	48
Tabela 15 - Análise de dados mesa 3.....	49
Tabela 16 - Valores máximos, mínimos e médios das deformações ocorridas.	51
Tabela 17 - Análise de dados mesa 4.....	52
Tabela 18 - Análise de dados mesa 4.....	55
Tabela 19 - Valores máximos, mínimos e médios das deformações ocorridas.	56
Tabela 20 - Análise de dados alma 1.	57
Tabela 21 - Análise de dados alma 1.	59
Tabela 22 - Valores máximos, mínimos e médios das deformações ocorridas.	60
Tabela 23 - Análise de dados mesa 1.....	61
Tabela 24 - Valores máximos, mínimos e médios das deformações ocorridas.	63
Tabela 25 - Análise de dados mesa 2.....	64
Tabela 26 - Análise de dados mesa 2.....	67
Tabela 27 - Valores máximos, mínimos e médios das deformações ocorridas.	68
Tabela 28 - Análise de dados alma 2.	69
Tabela 29 - Análise de dados alma 2.	71
Tabela 30 - Análise de dados geral.	72
Tabela 31 - Tabela comparativa da energia de soldagem com a deformação para 1 e 2 arames.	74
Tabela 32 – Características dos processos de soldagem.	75
Tabela 33 – Valores de custos aproximados.	76
Tabela 34 – Custo de fabricação de perfis soldados com um e dois arames....	78

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

A Ampere [A]

CC⁻ Corrente contínua com polaridade direta

CC⁺ Corrente contínua com polaridade inversa

CA Corrente Alternada

CP Corpo de prova

D Diâmetro interno da tubulação [m]

E Espessura da parede

ES Energia de Soldagem

m Metro

MB Metal base

min Minuto

mm Milímetro

" polegada

MS Metal de solda

s Segundo

V Volt

VS Velocidade de soldagem

ZAC Zona afetada pelo calor

AS Arco-Submerso

t Espessura

f_y Tensão de Escoamento

f_u Tensão de Ruptura

CT Custo total

CMO Custo de mão de obra

CC Custo dos consumíveis

CE Custo de energia elétrica

CM Custo de manutenção

CD Custo de depreciação

CMC Custo de outros materiais de consumo

PM Partícula Magnética

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	VI
CURRICULUM VITAE.....	VII
RESUMO	X
ABSTRACT	XI
LISTA DE FIGURAS.....	XII
LISTA DE TABELAS.....	XV
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS	XVI
SUMÁRIO.....	XVII
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 BREVE HISTÓRICO DE SOLDAGEM.....	3
2.2 SOLDAGEM POR ARCO SUBMERSO.....	4
2.2.1 VARIANTES DO PROCESSO PRO ARCO SUBMERSO	5
2.2.2 VARIÁVEIS DO PROCESSO	7
2.2.2.1 CORRENTE ELÉTRICA	8
2.2.2.2 TENSÃO DO ARCO ELÉTRICO	9
2.2.2.3 POLARIDADE DO ELETRODO.....	10
2.2.2.4 DIÂMETRO DO ELETRODO.....	10
2.2.2.5 DISTÂNCIA DO TUBO DE CONTATO - PEÇA	10
2.2.2.6 VELOCIDADE DE SOLDAGEM.....	11
2.2.2.7 SELEÇÃO DE FLUXO E ELETRODO DE SOLDAGEM	12
2.3 DEFEITOS E CORREÇÕES EM SOLDAGEM PELO PROCESSO DE ARCO SUBMERSO	14
2.4 TENSÕES RESIDUAIS	15
2.4.1 CONSEQUÊNCIAS	19
2.5 DISTORÇÕES EM SOLDAGEM.....	20
2.5.1 CONTROLE E CORREÇÃO DA DISTORÇÃO	23
2.5.2 EFEITO DA ENERGIA DE SOLDAGEM NA DISTORÇÃO	24
2.6 FABRICAÇÃO DE PERFIS SOLDADOS	27
2.6.1 SELEÇÃO DE AÇOS ESTRUTURAIS (A36, A572) PARA CONSTRUÇÃO CIVIL	27
2.6.2 PROPRIEDADES DOS AÇOS ESTRUTURAIS	28
2.6.3 AÇOS ASTM A36 E A572	29
2.6.4 METODOLOGIA DE FABRICAÇÃO DE PERFIS SOLDADOS	30
2.6.4.1 PREPARAÇÃO DO MATERIAL PARA FABRICAÇÃO	31
2.6.4.1.1 CORTE	31
2.6.4.1.2 LIMPEZA	32
2.6.4.1.3 SOLDAGEM.....	32
2.6.5 CUSTO DE FABRICAÇÃO	34
3. OBJETIVO	38
4. MATERIAIS E MÉTODOS	39
4.1 METAL DE BASE	39
4.2 CONSUMÍVEL DE SOLDAGEM	40
4.3 EXECUÇÃO DA SOLDAGEM.....	40

4.3.1 EQUIPAMENTOS.....	42
4.4 TÉCNICA UTILIZADA PARA MEDIÇÃO DAS DEFORMAÇÕES.....	43
4.5 METODOLOGIA DE CÁLCULO DE CUSTOS.....	45
5. ANÁLISE DE RESULTADOS.....	47
5.1 DEFORMAÇÃO CAUSADA PELA SOLDAGEM UTILIZANDO UM ARAME....	48
5.1.1 MESA 3.....	48
5.1.2 MESA 4.....	51
5.1.3 ALMA 1.....	56
5.2 DEFORMAÇÃO CAUSADA PELA SOLDAGEM UTILIZANDO DOIS ARAMES	60
5.2.1 MESA 1.....	60
5.2.2 MESA 2.....	63
5.2.3 ALMA 2.....	67
5.3 COMPARAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES FINAIS OCORRIDAS NA FABRICAÇÃO DOS PERFIS SOLDADOS.....	72
5.4 COMPARAÇÃO DA DEFORMAÇÃO E DA ENERGIA DE SOLDAGEM APLICADA.....	73
5.5 ANÁLISE DE CUSTO DE FABRICAÇÃO DE PERFIS SOLDADOS	75
5.6 PRINCIPAIS ANÁLISES DOS RESULTADOS.....	79
6. CONCLUSÃO.....	81
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
ANEXO A – CERTIFICADOS DE MATÉRIA PRIMA	85
ANEXO B – CERTIFICADOS DE CONSUMÍVEIS	86
ANEXO C – DESENHO DE FABRICAÇÃO DA MALHA	88
ANEXO D – TABELAS DE MALHA	89

1. INTRODUÇÃO

As palavras versatilidade e rapidez fazem parte do nosso dia-a-dia. Essas são características fortes que impulsionam o mercado de construção civil por meio de estruturas metálicas. Obras inteligentes e leves, porém robustas, formam um cenário de projetos com inúmeras possibilidades para arquitetos, engenheiros e construtores expandirem seus conceitos com eficiência e alta qualidade. No entanto, sabemos que as vantagens da utilização de sistemas construtivos em aço vão muito além de estética. A redução do tempo de construção, a racionalização no uso de materiais e mão de obra e o aumento da produtividade são características indispensáveis ao sucesso de qualquer empreendimento.

Um ponto importante a ser definido em projetos de estruturas metálicas são os tipos de ligações que serão adotadas entre os elementos que a compõem como vigas, pilares e contraventamentos. Os elementos de ligação são essencialmente chapas, parafusos e cordões de solda. A principal característica deles é apresentarem resistência mecânica compatível com a do aço utilizado na estrutura. Escolher corretamente o tipo de ligação, soldada ou parafusada, significa conseguir uma montagem rápida e funcional com impacto direto no custo da obra. Para isso, a equipe responsável pela montagem da estrutura deve avaliar cautelosamente o grau de dificuldade, a padronização das ligações e as condições de montagem no local da obra. Em estruturas aparentes, a escolha de elementos de ligação assume um papel de destaque

devido ao seu apelo estético tornando o trabalho do arquiteto e do engenheiro calculista um desafio muito interessante.

As ligações soldadas devem ser executadas preferencialmente em fábrica para garantir a qualidade do produto e diminuir a possibilidade de reparos. Os processos de soldagem mais indicados são arco submerso, eletrodo revestido e arame tubular e proteção gasosa de CO₂. As possibilidades de juntas soldadas vão de acordo com o projeto de cada estrutura.

As usinas siderúrgicas produzem perfis estruturais metálicos em bitolas específicas. Em muitos casos, há a necessidade de utilizar perfis com dimensões de almas e mesas fora dos padrões dos perfis laminados fornecidas pelas principais usinas do país e do mundo. Nesse tipo de situação, foram desenvolvidos equipamentos específicos para produção de perfis soldados de forma que possibilitam atender dimensões de almas e mesas variadas de acordo com os mais variados projetos a serem fabricados.

Esse trabalho tem como objetivo, estudar a fabricação de perfis soldados por arco submerso, apresentar aspectos a respeito da produtividade comparando-se a produção pelo modo tradicional com apenas um arame e a técnica Twin-Arc com dois arames, além de proporcionar um estudo de caso para compreender os possíveis defeitos dimensionais causados pela distorção devido ao aporte de calor do processo de soldagem por arco submerso.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BREVE HISTÓRICO DE SOLDAGEM

Solda e soldagem são termos muito utilizados na indústria e não devem ser confundidos entre si. Segundo a norma AWS A3.0, de 2010, soldagem é definido como um processo de união de materiais por aquecimento até a temperatura de soldagem, com ou sem o uso de metal de adição, e com ou sem aplicação de pressão. Já a solda é a coalescência localizada de metais ou não metais produzidas pelo aquecimento dos materiais até a temperatura de soldagem, com aplicação de pressão ou sem, ou somente pela aplicação de pressão, com o uso de material de adição ou sem [1].

Elihu Thomsom, considerado o pai da soldagem por resistência, em 1877 sistematizou e estudou a soldagem por resistência elétrica com auxílio de pressão mecânica para a utilização em fios metálicos. No início da Primeira Guerra Mundial, em 1917, a demanda internacional pela fabricação de produtos metálicos colaborou para a estabilização de fabricantes de equipamentos de soldagem a arco elétrico e para o aprimoramento das aplicações desses equipamentos [1]. Durante os anos 1930, as aplicações de soldagem a arco elétrico cresceram rapidamente tornando o processo dominante [1].

Com a aplicação da corrente alternada, em 1935, o processo de soldagem TIG foi desenvolvido. Este processo consiste na utilização de eletrodo de tungstênio não consumível e gás inerte para proteção da poça de fusão. No mesmo ano, surgiu também o processo de soldagem por arco submerso. Em 1953, surge o processo MAG que o diferencia do processo MIG pela utilização

de gás ativo como proteção da poça de fusão e do arco elétrico. Atualmente, existem vários processos de soldagem descritos na literatura, utilizados comercialmente ou em fase de pesquisa [1].

2.2 SOLDAGEM POR ARCO SUBMERSO

A soldagem por arco submerso, também conhecida por SAW (*Submerged Arc Welding*), consiste na utilização de um eletrodo sendo ele tubular, sólido ou fita com um fluxo granulado para proteger a poça de fusão, daí a origem do nome, uma vez que o arco elétrico fica submerso no fluxo [2].

Inicialmente, este processo foi direcionado para chapas de aço carbono na indústria naval. Hoje, o processo de arco submerso está presente principalmente nos segmentos offshore, tubulações, estaleiros, caldeiraria pesada, geração de energia, revestimento de peças para desgaste, dentre outros [2].

Neste processo, o fluxo é distribuído por gravidade e fica separado do arco elétrico, ligeiramente à frente deste ou concentricamente ao eletrodo. Esta independência do par arame-fluxo é outra característica do processo que o torna diferente dos processos com eletrodo revestido, MIG/MAG e arame tubular. No arco submerso, essa separação permite que se utilizem diferentes composições de arame-fluxo, de modo a selecionar combinações que sirvam a um tipo de junta em especial [1]. A Figura 1 esquematiza um equipamento de soldagem por arco submerso, em que o eletrodo de arame nu é fornecido por um alimentador através do bocal de contato, conectado à fonte de energia e o fluxo é depositado à frente do arame.

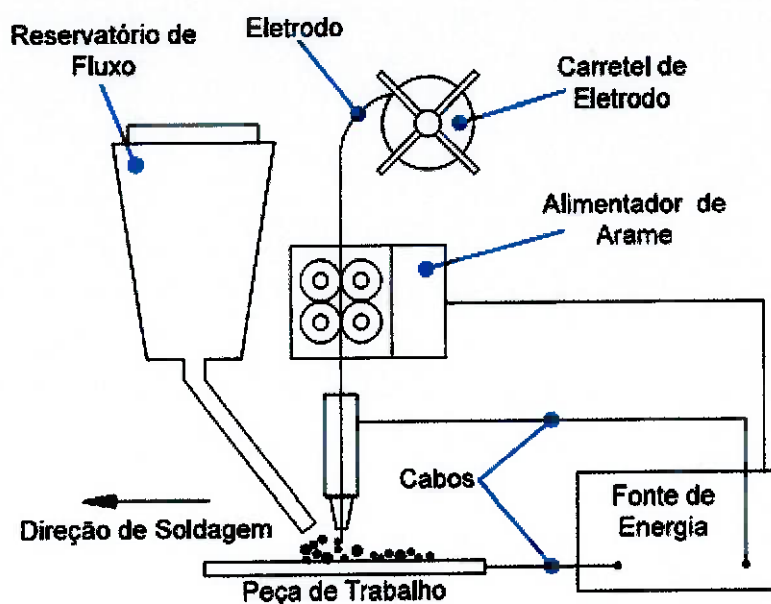


Figura 1 - Esquema do equipamento da soldagem por arco submerso [3].

A fonte de energia pode ser de corrente contínua ou alternada, corrente ou tensão constante e deve permitir trabalhos em altas correntes com 100% de ciclo de trabalho. A tocha de soldagem consiste de um bico de contato deslizante, de liga de cobre, um sistema para fixação do cabo de saída da fonte e um suporte isolante. O bico de contato deve ser adequado para cada diâmetro de arame a ser utilizado, e é responsável pela energização do arame. Já o alimentador de fluxo é composto de um recipiente porta-fluxo, mangueiras condutoras e um bocal de saída [1].

2.2.1 VARIANTES DO PROCESSO PRO ARCO SUBMERSO

A soldagem por arco submerso admite diversas variações que têm por objetivo aumentar a produtividade e facilitar operações específicas [1].

A técnica de Twin Arc trabalha com dois ou mais eletrodos, utilizando uma ou mais fontes de energia soldadas simultaneamente. Este processo fornece menor penetração, baixa diluição e alta taxa de deposição [1].

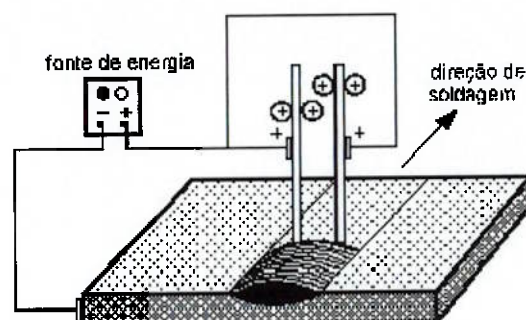


Figura 2 - Técnica Twin-arc [1].

A técnica de Tandem Arc apresenta dois ou mais eletrodos soldados em linha e simultaneamente. Cada um pode ter sua fonte de energia e controles em separado [1].

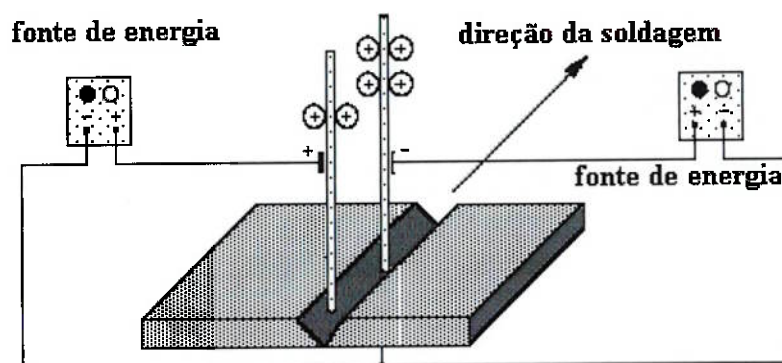


Figura 3 – Técnica de Tandem Arc [1].

Na aplicação de eletrodo em fita o arame é substituído por uma fita metálica. A diluição é muito baixa e os cordões de soldagem têm aproximadamente a largura da fita, o que faz com que o processo seja um dos melhores para revestimentos de grandes áreas [1].

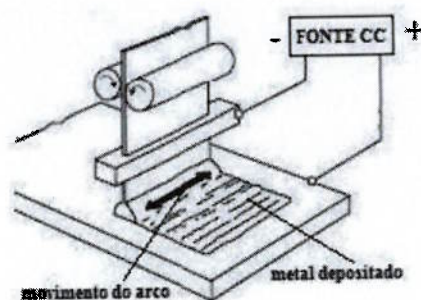


Figura 4 – Aplicação de eletrodo em fita [1].

A técnica de adição de pó de ferro deposita antes do fluxo uma camada de pó com a função de aumentar a taxa de deposição [1].

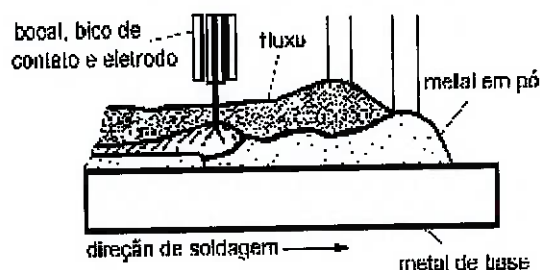


Figura 5 - Técnica de adição de pó de ferro [1].

2.2.2 VARIÁVEIS DO PROCESSO

O conhecimento e o controle das variáveis na soldagem por arco submerso são essenciais caso se queira obter cordões de solda de boa qualidade. Os parâmetros a serem considerados na soldagem por arco submerso podem ser aqueles predeterminados ainda na fase de projeto, como tipo e espessura do metal de base e propriedades requeridas para o metal de solda, além dos parâmetros decididos na fase inicial da produção como corrente, tensão, velocidade de soldagem, polaridade, combinação eletrodo-fluxo, diâmetro do arame, distância bico-peça e outros [1, 6].

2.2.2.1 CORRENTE ELÉTRICA

A corrente de soldagem é a variável mais influente. Ela controla a taxa de fusão do arame de solda, a profundidade de fusão e a quantidade de metal de base fundido. Se a corrente for excessivamente alta, a fusão será também excessivamente profunda (excesso de penetração) e o metal de solda fundido poderá vazar. Adicionalmente, o maior calor desenvolvido pode alargar demais a zona afetada pelo calor do metal de base. Correntes muito altas significam também um desperdício de energia e de arame de soldagem no sentido de reforço excessivo. Por outro lado, se a corrente for muito baixa, haverá penetração e reforço insuficientes [6].

Na Tabela 1 são ilustrados os valores que servem de referência para a soldagem de aços com baixo teor de carbono.

Tabela 1 - Faixa de corrente em função do diâmetro do arame [1].

Diâmetro do Arame		Faixa de Corrente
Pol.	mm	A
5/64	2,0	200 - 600
3/32	2,4	230 - 700
1/8	3,2	300 - 900
5/32	4,0	420 - 1.000
3/16	4,8	480 - 1.100
7/32	5,6	600 - 1.200
1/4	6,4	700 - 1.600
5/16	8,0	1.000 - 2.500
3/8	9,5	1.500 - 4.000

2.2.2.2 TENSÃO DO ARCO ELÉTRICO

Depois da corrente, a tensão do arco é o parâmetro mais relevante que é definido pela diferença de potencial elétrico entre a ponta do arame de soldagem e a superfície do metal de solda fundido [6]. Uma tensão mais elevada aumenta a possibilidade de formação de porosidades causadas por contaminantes não removidos; também causa o aumento do consumo de fluxo, bem como do teor de elementos de liga proveniente do fluxo. Essa variável está ligada, também, ao comprimento do arco e sua energia [4,5].

No caso da tensão estar excessivamente baixa a poça de fusão será muito rasa, tornando difícil a remoção da escória efetivamente. Mantendo-se os demais parâmetros constantes, pode-se verificar visualmente o efeito da variação da tensão no cordão de soldagem [1].

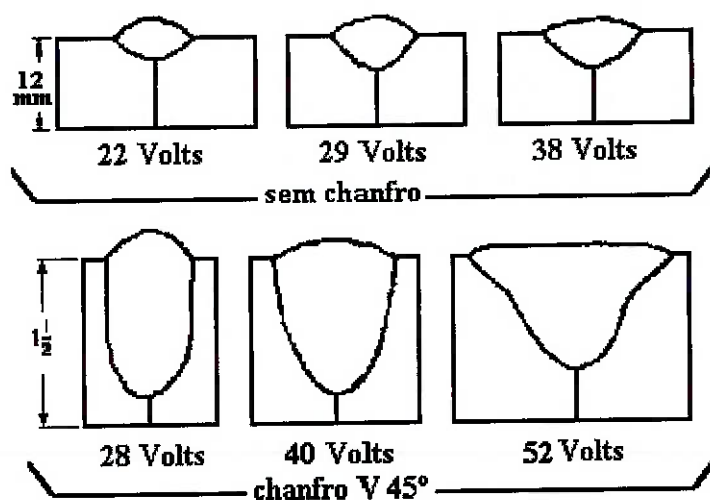


Figura 6 - Variação da tensão no cordão de soldagem [1]

2.2.2.3 POLARIDADE DO ELETRODO

Para a soldagem por AS, pode-se optar por utilizar tanto (CC^+) quanto (CC^-), além dessas, pode-se utilizar corrente alternada (CA). O eletrodo com polaridade reversa (CC^+) produz melhor penetração e um cordão com melhor acabamento, porém se estiver conectado na polaridade direta (CC^-), proporcionará maior taxa de deposição com diminuição da penetração. O mais utilizado é, geralmente, o eletrodo positivo enquanto que o negativo é aplicado em revestimentos ou aços de baixa soldabilidade em que é desejável reduzir a diluição [1].

Pode-se optar, também, por utilizar CA para a soldagem, que possui taxa de deposição e penetração intermediárias em relação à (CC^+) e (CC^-). Geralmente ela é utilizada em casos especiais como múltiplos arames ou quando há incidência de sopro magnético [4,5].

2.2.2.4 DIÂMETRO DO ELETRODO

O diâmetro do eletrodo determina a densidade de corrente, além disso, um aumento na sua dimensão irá ocasionar um aumento na largura do cordão e uma diminuição da penetração e da taxa de deposição. Um acréscimo exagerado irá tornar difícil a abertura do arco, bem como reduzirá sua estabilidade [4,5]. Arames mais finos possibilitam melhor abertura e reignição do arco, principalmente quando se trabalha com corrente alternada [1].

2.2.2.5 DISTÂNCIA DO TUBO DE CONTATO - PEÇA

Também conhecido como extensão do eletrodo, este parâmetro é a distância entre o ponto de contato elétrico e a ponta do eletrodo. Um aumento

desta variável incrementa a taxa de deposição e diminui a penetração, devido ao pré-aquecimento do arame causado pela passagem de corrente, como mostra a Equação 1 [4,5]:

$$\begin{aligned} P &= R \cdot I^2 \\ R &= \rho \cdot \frac{L}{A} \\ P &= \rho \cdot \frac{L}{A} \cdot I^2 \end{aligned} \quad (1)$$

Onde:

P: potência de pré-aquecimento;

R: resistência do eletrodo;

I: corrente elétrica;

ρ : resistividade do arame;

L: distância tubo de contato – peça;

A: seção transversal do eletrodo.

Quanto maior a extensão livre do eletrodo, maior será a taxa de fusão e, conseqüentemente, a taxa de deposição. O aumento de extensão do eletrodo adiciona um elemento de resistência ao circuito elétrico de soldagem e provoca uma queda de tensão, acarretando uma mudança na forma do cordão. A penetração e a largura são diminuídas e a convexidade é aumentada [1].

2.2.2.6 VELOCIDADE DE SOLDAGEM

A velocidade de soldagem é um parâmetro importante para controle do tamanho do cordão e sua penetração [4,5]. Com qualquer combinação de corrente-tensão de soldagem, os efeitos de variação da velocidade de soldagem seguem um modelo geral [6].

Se a velocidade de soldagem aumenta, o aporte de calor diminui (quantidade de calor transferido pelo arco por unidade de comprimento de solda), diminui a quantidade de arame de soldagem por unidade de comprimento de solda e consequentemente diminui o reforço de soldagem.

Se a velocidade de soldagem diminuir, o aporte de calor aumenta, a quantidade de arame de soldagem por unidade de comprimento de solda aumenta e consequentemente aumenta o reforço de soldagem.

2.2.2.7 SELEÇÃO DE FLUXO E ELETRODO DE SOLDAGEM

Os consumíveis para soldagem por arco submerso são os fluxos e o arame-eletrodo que combinados levam ao resultado final esperado tanto químico como mecânico, justificando por que nas classificações conforme AWS sempre deve ser levado em consideração a combinação arame e fluxo [2]. A escolha do eletrodo depende de sua composição química, que deve ser compatível com a do metal base [4].

Para este processo de soldagem, o fluxo tem várias funções. Entre elas destacam-se: estabilizar o arco; fornecer elementos de liga para o metal de soldagem; proteger o arco e o metal aquecido da contaminação da atmosfera; minimizar impurezas no metal de solda; produzir escória com determinadas propriedades físicas e químicas que podem influenciar o aspecto e o formato do cordão de soldagem, sua destacabilidade e a ocorrência de defeitos [1].

De acordo com o processo de fabricação, o fluxo pode ser classificado em aglomerado, fundido ou misturado: Aglomerado: é constituído de compostos minerais finamente moídos, como óxidos de manganês, silício,

alumínio, dentre outros. A estes ingredientes é adicionado um agente aglomerante, normalmente silicato de sódio ou potássio; Fundido: é constituído de óxidos de manganês, silício, alumínio, zircônio ou cálcio e desoxidantes. Esses ingredientes são fundidos em forno para formar um vidro metálico. Após o resfriamento, o vidro é reduzido a partículas granulares, cujas dimensões requeridas asseguram características apropriadas para a soldagem; Misturado: este tipo de fluxo forma uma mistura mecânica de dois ou mais tipos de fluxos em proporções selecionadas de forma a obter uma propriedade definida. Porém possui uma grande desvantagem que é a de não ser possível garantir uma perfeita uniformidade dos componentes, além de que estes podem se separar ou na embalagem, ou na manipulação [1].

Os arames-eletrodos são classificados segundo o teor de manganês que contêm, podendo ser baixo, médio ou alto. Cada teor desse apresenta quantidades diferentes de carbono e de silício. Eletrodos com altos teores de manganês, carbono e silício, geralmente, produzem cordões com maior resistência a dureza. Estes arames são normalmente sólidos, fornecidos na forma de carretéis ou boninas. São produzidos por trefilação e apresentam um revestimento especial de cobre. A combinação final de arame-fluxo é feita segundo normas, e na avaliação ou medida das propriedades de interesse da soldagem que será realizada [1].

2.3 DEFEITOS E CORREÇÕES EM SOLDAGEM PELO

PROCESSO DE ARCO SUBMERSO

Existem diversos critérios para aceitação de inspeção visual e dimensional do cordão de solda. Dentre eles, segundo a norma NBR 5884, podemos citar:

Tabela 2 - Defeitos e correções em soldagem (Adaptado da ref. [7]).

Categoria da descontinuidade	Critério de inspeção	Ações estáticas	Ações cíclicas
Trincas	A solda não deve apresentar trincas.	X	X
Mordedura	Para material com espessura menor do que 25 mm, a mordedura não deve exceder 1 mm de profundidade, exceto que pode-se admitir um máximo de 1,5 mm para um comprimento acumulado de 50 mm, em qualquer trecho linear de 300 mm de solda. Para material com espessura igual ou superior a 25 mm, a mordedura não deve exceder 1,5 mm para qualquer comprimento de solda.	X	N.A
	Em peças principais a mordedura não pode ser maior que 0,25 mm em profundidade, quando a solda é transversal ao esforço de tração.	N.A	X
Porosidade	As soldas de penetração total em chanfro, em juntas de topo transversais à direção de tensão de tração, não devem ter porosidade tubular visível. Para todas as outras soldas de chanfro e para soldas de filetes, a soma das porosidades visíveis de diâmetros maiores ou iguais a 1 mm não deve exceder 10 mm em qualquer trecho linear de 25 mm de solda e não deve exceder 20 mm em qualquer trecho de 300 mm de comprimento de solda.	X	N.A
	A ocorrência de porosidade tubular em soldas de filetes não deve exceder 25 mm em cada 100 mm de comprimento de solda e o diâmetro máximo não deve exceder 2 mm.	N.A	X
	As soldas de penetração total em chanfro, em juntas de topo transversais à direção de tensão de tração não devem ter porosidade tubular. Para todas as outras soldas de chanfro, a ocorrência de porosidade tubular não deve exceder 25 mm em 100 mm de comprimento e o diâmetro máximo não	N.A	X

	deve exceder 2 mm		
NOTAS 1) x: critério aplicável. 2) N.A: critério não-aplicável.			

2.4 TENSÕES RESIDUAIS

De modo geral, as tensões residuais associadas com a ocorrência de deformação plástica não uniforme por efeitos térmicos são de suma importância para a soldagem. Se um objeto for aquecido e resfriado de modo uniforme e não existirem restrições às suas variações dimensionais, estas não resultam em efeitos mecânicos importantes no objeto, isto é, após o ciclo térmico, o objeto não deverá apresentar nem tensões residuais nem distorções. Contudo, se a variação de temperatura não for uniforme ao longo da peça ou se esta não puder se expandir ou contrair livremente durante o ciclo térmico, tensões residuais e/ou distorções podem se desenvolver [8]. Esta condição é frequente em diversas condições de soldagem, onde a utilização de mecanismos para controle da distorção impede o alívio das tensões residuais causadas pelo processo de soldagem.

A deformação ocorre durante o ciclo de aquecimento e resfriamento. Quando uma barra é aquecida sem restrições haverá uma expansão uniforme e conseqüentemente ao resfriar voltará a sua forma original. Porém, quando uma barra é aquecida com restrição de dois lados, esta deverá expandir somente para os lados sem restrição, ao resfriar haverá uma redução tanto no sentido da expansão quanto no sentido da restrição, como pode ser observado na Figura 7 [9].

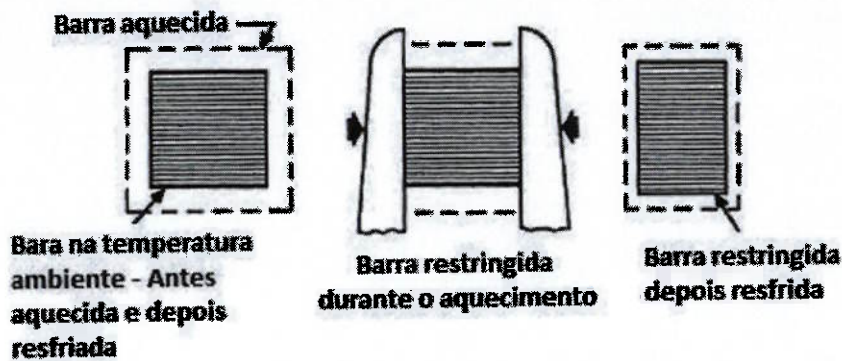


Figura 7 - Barra restringida [9].

As tensões residuais, presentes em uma estrutura soldada durante a sua fabricação e seu uso, são de dois tipos [8]: tensões residuais produzidas na soldagem de seus membros sem restrição; tensões de reação resultantes da ligação entre os diversos membros da estrutura e entre estes e outras estruturas.

A Figura 8 mostra esquematicamente a distribuição de tensões residuais longitudinais e transversais em uma solda de topo. A distribuição de tensões longitudinais pode ser aproximada empiricamente por [10]:

$$\sigma_x = \sigma_m \left[1 - \left(\frac{y}{b} \right)^2 \right] e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{b} \right)} \quad (2)$$

Onde b , é a largura do pico de tensões de tração, depende das condições de soldagem e do material e σ_m é a tensão máxima (no centro da solda) cujo valor é, em geral, próximo do limite de escoamento do material [10].

A distribuição de tensões transversais (Figura 8c) é caracterizada, em cordões de soldas isolados por valores menores de tensões. Contudo, quando a soldagem faz parte de uma estrutura incluindo outras partes, tensões de reação tendem a se somar às tensões de origem térmica resultando em

maiores valores de tensões residuais (linha tracejada na Figura 8c). Em outros tipos de juntas (Soldagem de vigas em T, I ou de tubulações, por exemplo), uma distribuição mais complexa de tensões residuais tende a se formar em função das forças de reação que se desenvolvem pela própria geometria do componente soldado [11].

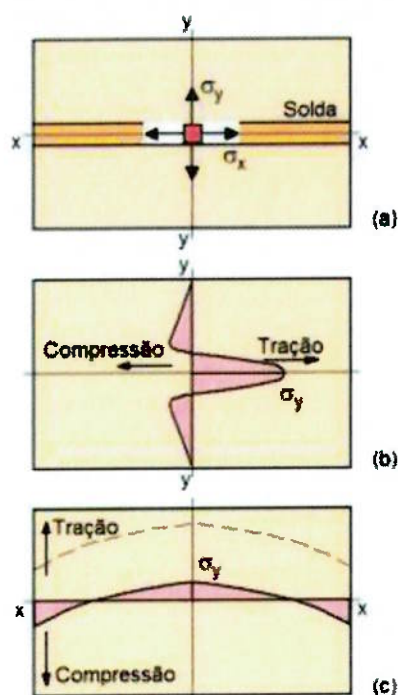


Figura 8 - Distribuição típica de tensões residuais em uma soldagem de topo. (a) Sistema de coordenadas e tensões. (b) Tensões longitudinais. (c) Tensões transversais (linha tracejada: distribuição de tensões quando a solda faz parte de uma estrutura e está sujeita a tensões de reação) (Adaptado ref. [11]).

Distribuição típica de tensões residuais em uma soldagem de topo. (a) Sistema de coordenadas e tensões. (b) Tensões longitudinais. (c) Tensões transversais (linha tracejada: distribuição de tensões quando a solda faz parte de uma estrutura e está sujeita).

Quando o componente soldado apresenta uma grande espessura (superior a cerca de 25 mm), as tensões residuais nesta direção (z) e a variação das tensões em outras direções com a espessura podem se tornar

significativas. Estas duas tensões residuais tendem a deformar o conjunto soldado, conforme pode ser verificado na Figura 9 [9].

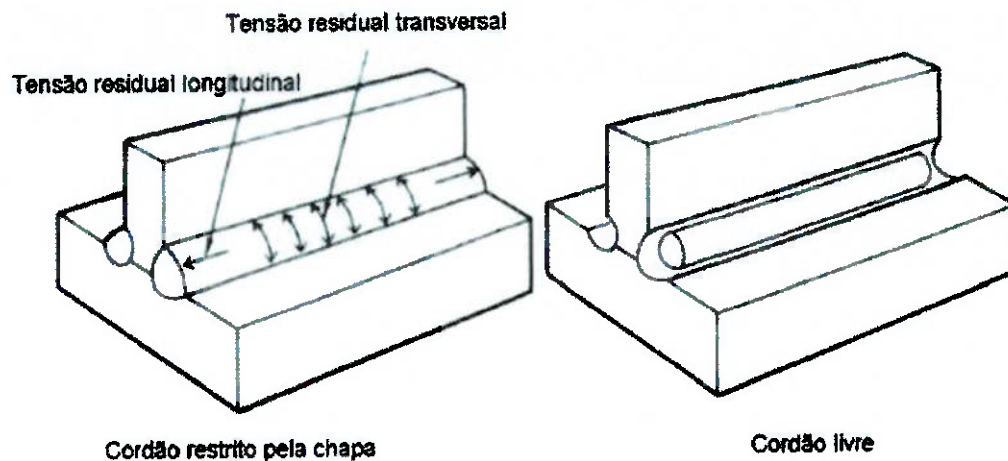


Figura 9 - Esquema de tensão longitudinal, transversal e de cordão livre contraído [9].

A Figura 10 ilustra a distribuição das tensões σ_x , σ_y e σ_z ao longo da espessura de uma solda de 25 mm de espessura de aço carbono depositada com o processo eletrodo revestido [12].

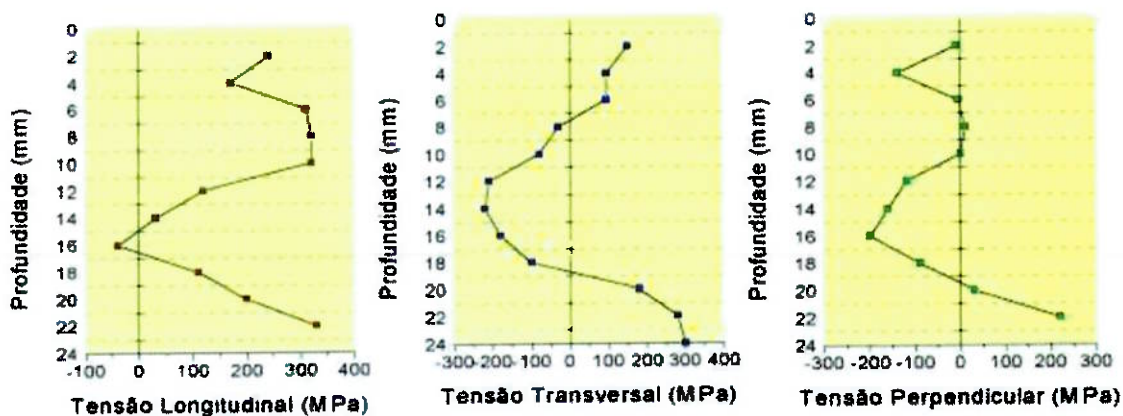


Figura 10 - Distribuição das tensões "X", "Y" e "Z" ao longo da espessura de uma solda [12].

Estruturas soldadas tendem a apresentar uma distribuição complexa de tensões residuais que pode ser caracterizada, na região do cordão de solda, por

esforços de tração em duas (ou três) dimensões. Este estado de tensão tende a dificultar a deformação plástica da região da solda podendo favorecer o desenvolvimento de trincas nessa região quando essa apresenta baixa ductilidade ou quando a estrutura é colocada em um ambiente agressivo e/ou submetida a solicitações severa. Ou seja, a distribuição de tensões residuais em um componente soldado é afetada por diversos fatores, incluindo as características do metal de base e da solda (à temperatura ambiente e a altas temperaturas), a geometria da junta soldada e a sua ligação com outros componentes e as condições de soldagem (e pela distribuição de temperaturas resultante na peça durante a soldagem) [13].

2.4.1 CONSEQUÊNCIAS

As tensões residuais podem contribuir para o aparecimento de vários problemas em juntas soldadas. Alguns aspectos relevantes relativos ao efeito das tensões residuais em um dado componente podem ser destacados [8].

A presença de tensões residuais é mais importante para fenômenos que ocorrem com baixos níveis de tensão (inferiores ao limite do escoamento do material) como a fratura frágil, a fragilização pelo hidrogênio e a corrosão sob tensão [8].

Em estruturas de materiais dúcteis submetidas a um carregamento, quanto maior for o nível das tensões aplicadas, menor será o efeito das tensões residuais. Quando o nível de carregamento for suficientemente elevado, parte da peça pode escoar e, como resultado, as tensões residuais são reduzidas [8].

Em estruturas de materiais frágeis submetidas a um carregamento, tensões residuais de tração podem precipitar a ocorrência da falha por fratura frágil [8].

Se a estrutura é carregada além de seu limite de escoamento, as suas tensões residuais se tornam desprezíveis [8].

Métodos que utilizam alguma forma de sollicitação mecânica podem ser usados para diminuir as tensões residuais de um componente soldado [8].

2.5 DISTORÇÕES EM SOLDAGEM

Distorções são alterações de forma e dimensões que componentes soldados sofrem como resultado do movimento de material (deformação plástica) que ocorre em função das tensões térmicas desenvolvidas durante o processo de soldagem. Este fenômeno afeta a forma e dimensões de um componente ou estrutura de modo tanto global como localizado (quando são também chamadas de deformidades), Figura 11. A distorção final de um componente soldado é sempre oposta e, em geral, da mesma ordem de grandeza do movimento de material que ocorre durante a soldagem [8].

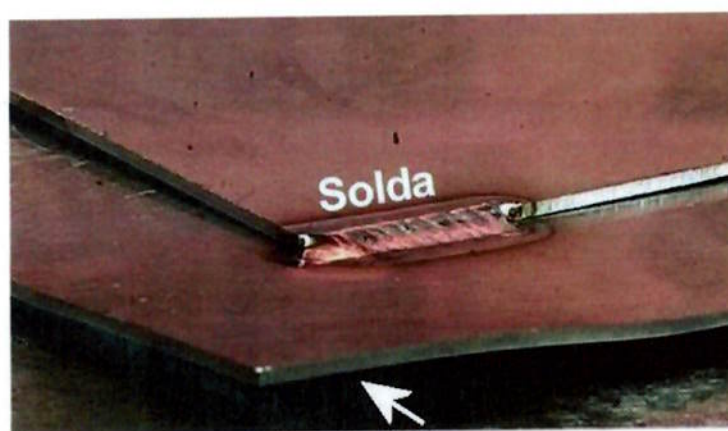


Figura 11 - Distorção localizada causada por um pequeno cordão de solda entre chapas de aço inoxidável [8].

Em juntas simples, três tipos básicos de distorção podem ocorrer: (1) contração transversal (perpendicular à linha da solda); (2) contração longitudinal (paralela à linha da solda); (3) distorção angular (rotação em torno da linha da solda) [8].

A Figura 12 ilustra cada tipo. A contração longitudinal tende a ser menor que a transversal (cerca de 1/1000 do comprimento da solda), contudo, ela pode causar efeitos importantes como o dobramento em peças soldadas fora de sua linha neutra e a distorção por flambagem em chapas finas. Já a distorção angular ocorre quando a contração transversal não é uniforme ao longo da espessura da junta, podendo ocorrer tanto em soldagem de topo como em filete (Figura 12c) [8].

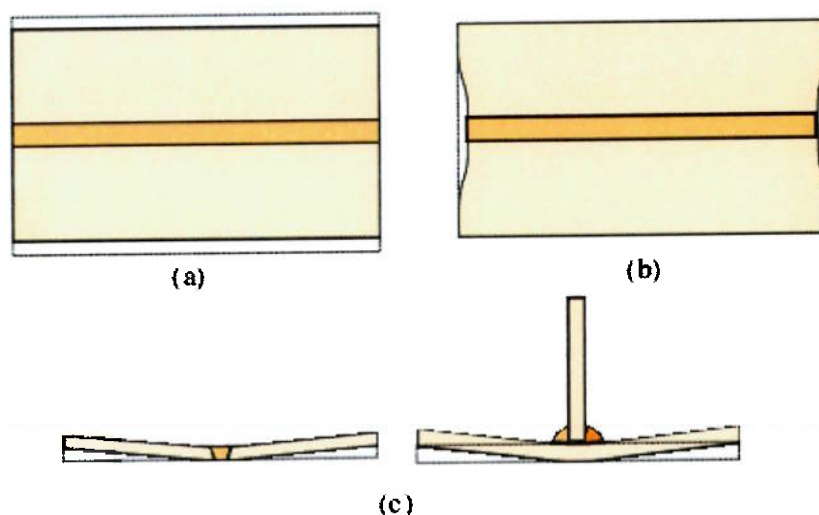


Figura 12 - Distorções básicas: (a) Contração transversal, (b) contração longitudinal e (c) Distorção angular [8].

Estas distorções básicas causam distorções mais complexas em juntas soldadas reais como, por exemplo, o dobramento (Figura 13a) e a torção de

vigas e a distorção por flambagem em juntas de peças de pequena espessura (Figura 13b) [8].

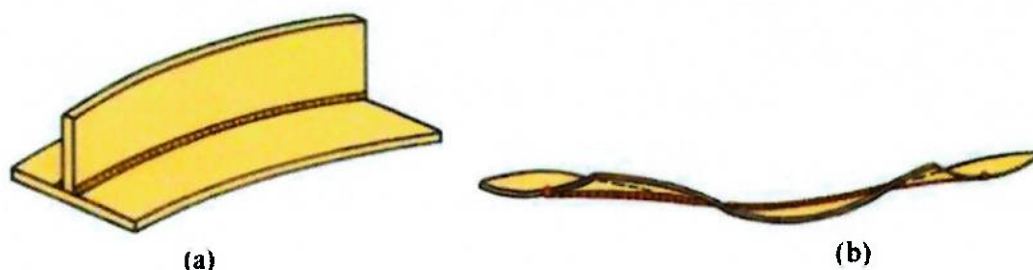


Figura 13 - (a) Dobramento de uma viga T e (b) Flambagem em chapas finas [8].

Durante a soldagem de componentes livres (isto é, que não estejam presos por ponteamto soldado ou por algum dispositivo de fixação), estes podem sofrer distorção rotacional (Figura 14), o que pode dificultar as condições de soldagem e modificar o padrão final da distorção da junta soldada [8].

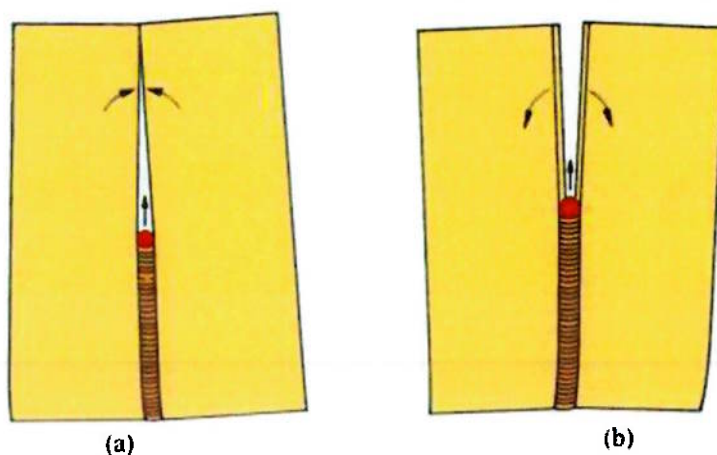


Figura 14 - Rotação durante a soldagem para (a) Baixo e (b) Alto aporte térmico [8].

2.5.1 CONTROLE E CORREÇÃO DA DISTORÇÃO

Para reduzir a distorção em soldagem, diversas medidas podem ser usadas. No projeto de estruturas soldadas: Projetar estruturas com a menor quantidade possível de cordões de soldas; usar chanfros que necessitem a deposição de menos metal de adição; usar chanfros simétricos (X, K, duplo U, etc); posicionar cordões de soldas junto da linha neutra da peça ou em posições simétricas em relação à linha neutra; especificar a menor geometria possível dos cordões de soldas compatível com as solicitações existentes [8].

Na fabricação: Estimar a distorção que ocorrerá na estrutura e posicionar as peças de forma a compensar esta distorção. (Difícil de aplicar em estruturas complexas); colocar peças na sua posição correta, ou próximo desta, e utilizar dispositivos de fixação ou outras técnicas para aumento da restrição das peças ao movimento (ponteamento antes da soldagem, gabaritos, etc); usar sequências de deposição de cordões de solda (deposição por partes, uso de mais de um soldador iniciando a operação no mesmo ponto e soldando em direções opostas) e de montagem (montagem por subcomponentes, etc) que minimizem a distorção [8]. Visando uma diminuição na deformação gerada, é interessante a utilização de chanfros duplos, duplo V ou duplo U. É possível equilibrar ou compensar os esforços de contração soldando-se em ambos os lados. Os chanfros podem ser simétricos ou assimétricos. A Figura 15 mostra a compensação da distorção do passe anterior pelo seguinte[14].

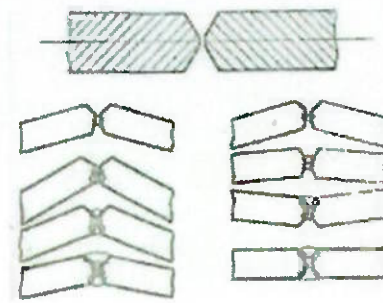


Figura 15 - Sequência de soldagem do chanfro simétrico [15].

Após a soldagem (correção da distorção): Remoção a quente (1) Aquecimento localizado (isto é, de forma similar ao que gerou a distorção, mas de forma a contrabalanceá-la), (2) Aquecimento uniforme e conformação mecânica. Remoção a frio (1) Calandragem, (2) Prensagem, (3) Martelamento etc.

2.5.2 EFEITO DA ENERGIA DE SOLDAGEM NA DISTORÇÃO

Uma das possibilidades de controlar a distorção é por meio da energia de soldagem, controlando os parâmetros de soldagem, velocidade, corrente e tensão.

Na execução da soldagem a região de maior aquecimento na junta é a da poça de fusão, que expande devido à temperatura e quando resfria ocorrendo à solidificação, a tendência normal é a contração [9].

A Temperatura máxima de aquecimento varia com a temperatura inicial da peça e está diretamente ligada à energia de soldagem que é representada pela razão entre a quantidade de energia dispendida na soldagem e a velocidade de avanço da poça de fusão Figura 16 [9]. Nota-se que quanto maior é a temperatura atingida, maior é a extensão da zona afetada pelo calor [16].

A Velocidade de resfriamento varia inversamente com a temperatura inicial da peça soldada e com a energia de soldagem. A espessura do componente também interfere neste item, peças espessas apresentam maior velocidade de resfriamento [16].

O conceito de chapa fina está relacionado a um escoamento de calor bidimensional em uma junta soldada. Isto significa que as isothermas ao longo da espessura da chapa são linhas retas paralelas e perpendiculares à superfície da chapa. Uma chapa é grossa quando envolve um escoamento de calor tridimensional em uma junta. As isothermas ao longo da espessura da chapa são círculos concêntricos com origem na fonte de calor [11].

Um dos modos de controlar a deformação é através do procedimento de soldagem. Altas velocidades de soldagem tendem a diminuir consideravelmente as deformações. Conforme ilustrado na Figura 16 [9].

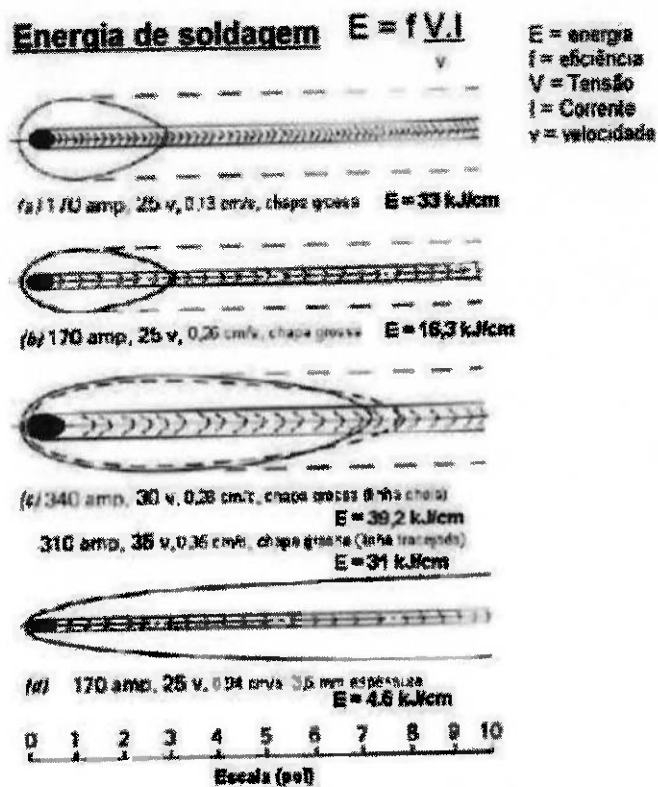


Figura 16 - Efeito dos parâmetros de soldagem na deformação

[9].

2.6 FABRICAÇÃO DE PERFIS SOLDADOS

2.6.1 SELEÇÃO DE AÇOS ESTRUTURAIS (A36, A572) PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

O aço é um composto que consiste quase totalmente de ferro (98%), com pequenas quantidades de carbono, silício, enxofre, fósforo, manganês etc. O carbono é o material que exerce o maior efeito nas propriedades do aço. Os aços utilizados em estruturas são divididos em dois grupos: aços-carbono e aços de baixa liga [17].

Os aços-carbono são os tipos mais usuais, nos quais o aumento de resistência em relação ao ferro puro é produzido pelo carbono e, em menor escala, pela adição de manganês. O aumento do teor de carbono eleva a resistência e a dureza (redução da ductilidade); porém, o aço resulta mais quebradiço e sua soldabilidade diminui consideravelmente. Entre os aços-carbono mais usados em estruturas, podemos citar: o ASTM A36 e A570 e os ABNT 6648, 6649, 6650, 7007 e DIN St37 [17].

Os aços de baixa liga são os aços-carbono acrescidos de elementos de liga em pequena quantidade, tais como nióbio, cobre, manganês, silício etc. Os elementos de liga provocam um aumento de resistência do aço, através da modificação da microestrutura para grãos finos. Os mais usados são o ASTM A572, A441, os ABNT NBR 5000, 5004; DIN St52 etc. [17].

2.6.2 PROPRIEDADES DOS AÇOS ESTRUTURAIS

O conhecimento das propriedades mecânicas de um metal é importante para avaliarem sua aplicação para a construção de um membro estrutural e para determinado uso particular. Elasticidade: é a capacidade que têm os metais de voltar a sua forma original após sucessivos ciclos de carregamento e descarregamento. Fadiga: ocorre quando o componente é submetido a solicitações cíclicas de carregamento ao longo do tempo de forma que ocorra a formação e propagação de trincas que podem ocasionar a ruptura do material. Ductilidade: é a capacidade que tem o metal de se deixar deformar sem sofrer fraturas na fase inelástica [17].

O limite de escoamento do aço varia com a temperatura, rapidez do ensaio e as características do corpo de prova (dimensão, forma e o acabamento da superfície). A Figura 17 traz a curva típica de tensão-deformação obtida através de um teste de tração para aço estrutural. O patamar de escoamento mostrado na Figura 16 é peculiar dos aços estruturais tratados a frio [17].

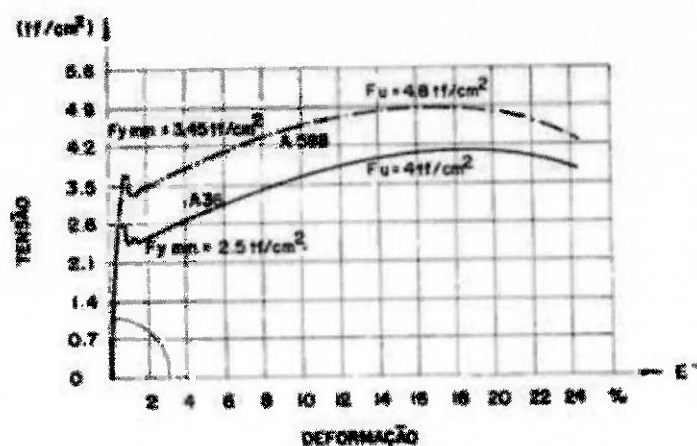


Figura 17 - Curva típica tensão-deformação, obtida a partir de ensaios de tração para aços estruturais [17].

As principais constantes físicas dos aços estruturais são [17]:

- Massa Específica: $\rho_a = 7,85 \text{ t/m}^3 = 77,0 \text{ kN/m}^3$
- Módulo de Elasticidade: $E = 200 \text{ GPa}$
- Coeficiente de Poisson: $\nu = 0,3$
- Coeficiente de Dilatação Térmica: $\alpha = 1,2 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$

2.6.3 AÇOS ASTM A36 E A572

A Tabela 3 apresenta as propriedades dos aços estruturais utilizados neste trabalho [17]. Onde t é a espessura do material, f_y é a tensão de escoamento e f_u a tensão de ruptura.

Tabela 3 - Aços estruturais ASTM – Tensão em kN/cm² [17].

Tabela 3 - Aços estruturais ASTM – Tensão em kN/cm² [17].

Aços ASTM						
Classificação	Denominação	Produto	Grupo/grau		f _y	f _u
Aços - Carbono	A36 – É o mais usado em estruturas metálicas, podendo ser usado em edifícios, pontes e estruturas em geral e ser empregado em ligações rebitasadas, parafusadas e soldadas.	Perfis	Todos os grupos		25,0	40,0 A 55,0
		Chapas	t ≤ 200			
		Barras	t ≤ 100			
Aços de baixa liga e alta resistência mecânica	A572 – É usado onde se requer um grau de resistência maior e é apresentado em vários graus, podendo ser empregado em qualquer tipo de estrutura com ligações soldadas, parafusadas ou rebitasadas.	Perfis	Todos os Grupos	Grau 42	29,0	41,5
				Grau 50	34,5	45,0
		Chapas e Barras	Grau 42 (t ≤ 150)		29,0	41,5
			Grau 50 (t ≤ 50)		34,5	45,0

2.6.4 METODOLOGIA DE FABRICAÇÃO DE PERFIS

SOLDADOS

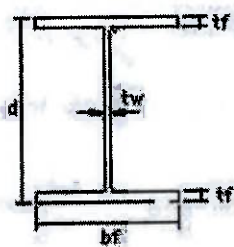
Dada à grande versatilidade de combinações de espessura com alturas e larguras, os perfis soldados, compostos a partir de três chapas, são largamente empregados nas estruturas metálicas. Com esses produtos, passa-se a ter opções variadas e grande liberdade. A fim de facilitar os projetistas, a ABNT (NBR 5884/04) padronizou cinco séries, a saber [17]:

- **CS** para colunas com $(d/bf) = 1$;

- **VS** para vigas com $(d/bf) \leq 4$;
- **CVS** para colunas e vigas com $(d/bf) \leq 5$;
- **VSA** para vigas de rolamento (**mesas diferentes**);
- **VSM** para vigas mistas (**mesas diferentes**).

Na Tabela 4, são apresentados os padrões de perfis soldados de acordo com suas características dimensionais.

Tabela 4 - Perfis soldados [17].

Tipo	Altura (mm)	Designação (exemplo)
	CS de 150 a 650 CVS de 150 a 700 VS de 150 a 2000 VSA de 500 a 1200 PS não-padrão	VS 900 x 124 VS com $d = 900$ mm e 124 kg/m (PS 400x200)*

2.6.4.1 PREPARAÇÃO DO MATERIAL PARA FABRICAÇÃO

2.6.4.1.1 CORTE

As chapas para a fabricação dos perfis soldados devem ser cortadas nas dimensões requeridas, mediante processo de corte térmico ou mecânico. As peças cortadas nas dimensões requeridas, quando necessário, devem ser desempenadas mediante métodos mecânicos apropriados, tais como desempenadeiras, prensas e outros, ou pela aplicação de uma quantidade limitada de calor localizado, cuja temperatura nessas regiões não exceda 650°C [7].

2.6.4.1.2 LIMPEZA

Os materiais que vão formar os perfis soldados devem ser submetidos, quando necessário, a uma limpeza prévia, principalmente nas regiões próximas aos cordões de soldas, com o objetivo de evitar defeitos ao soldar. Para limpeza devem ser empregados métodos apropriados, tais como jato de granalha, escova de aço, esmerilhamento, solventes e outros [7].

2.6.4.1.3 SOLDAGEM

A qualificação e ensaios de soldagem por arco elétrico, devem-se aplicar as especificações da *American Welding Society - AWS*. Os eletrodos empregados na fabricação de perfis soldados, devem seguir a norma ABNT NBR 5884. O processo de soldagem empregado na fabricação de perfis deve preferencialmente ser o arco submerso mediante o uso de máquinas automáticas ou semiautomáticas. Podem ser empregados outros processos de soldagem, desde que atendam à qualidade especificada no projeto [7].

O cordão de solda deve ser contínuo e pode ser de penetração total, parcial, de filete duplo ou de um só lado da alma, em função das exigências de projeto. No caso de filete em um só lado da alma, cuidados adequados devem ser tomados para evitar problemas de corrosão [7].

Na Tabela 5 são considerados três padrões de tolerâncias dimensionais.

Tabela 5 - Padrões de tolerância [7].

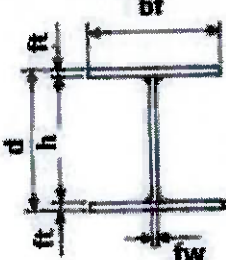
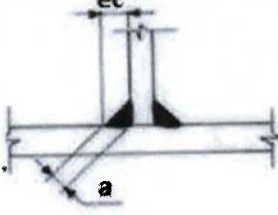
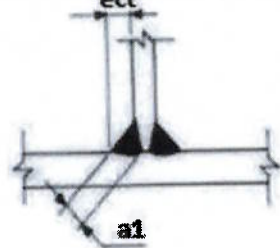
Padrões de tolerância	Aplicações usuais
I	Elementos estruturais sujeitos a ações cíclicas, tais como: vigas de rolamento para ponte rolante altamente solicitada e estruturas especiais que requerem elevado rigor de tolerâncias.
II	Estruturas convencionais, tais como: galpões industriais e edifícios comerciais e residenciais.
III	Estruturas secundárias e complementares, tais como: estacas e

postes.
NOTA: Para estruturas que requerem um maior rigor de tolerância, especificações adequadas devem ser indicadas em projeto.

As dimensões mínimas do cordão de solda devem atender ao indicado na

Tabela 6 [7].

Tabela 6 - Dimensão mínima para uma solda de filete [7].

EspeSSura do material a soldar	Processo com proteção gasosa ou com eletrodo revestido	Processo por arco submerso	
			
Maiores espessura do material a soldar $t = t_f$ ou t_w ¹⁾ mm	Dimensão mínima do cordão de solda e_c ^{2), 3), 4), 5)} mm	Dimensão mínima do cordão de solda e_{c1} mm	a_1 ⁶⁾ mm
Até 6,35 inclusive	3,0	-	-
$6,35 < t \leq 12,5$	5,0	3,5	3,5
$12,5 < t \leq 19$	6,0	4	4
$19 < t \leq 38$	8,0	5,5	5,5
$38 < t \leq 56$	10,0	7	7
1) Quando não for utilizado o processo tipo baixo-hidrogênio nem preaquecimento, a espessura (t) refere-se à maior espessura do material a soldar. Nesse caso, deve-se usar passe simples. 2) A espessura (t) refere-se à menor espessura do material a soldar quando: a) Não for utilizado o processo tipo baixo-hidrogênio, porém seguindo os procedimentos estabelecidos para evitar trincas, conforme 3.5.2 da especificação AWS D.1.1:2000; b) For utilizado processo tipo baixo-hidrogênio; Nos casos a) e b) não se aplica o requisito do passe simples. 3) A dimensão mínima do filete de solda deve ser igual ou superior à dimensão necessária para obter a força resistente de cálculo desse filete. 4) A dimensão mínima do filete de solda não necessita ser maior que a espessura mais fina do material a soldar. 5) Quando a solda de filete for executada pelo processo por arco submerso, a dimensão mínima medida externamente pode ser adequadamente reduzida, devido à correspondente penetração obtida por esse processo, desde que seja suficiente para atender às exigências de cálculo. 6) Dimensão mínima da perna de solda para estruturas sujeitas a fadiga é de 5 mm. 7) Para processo por arco submerso pode-se considerar: a) para perna do cordão de solda menor ou igual a 9,50 mm, $e_{c1} = a_1$; b) para perna do cordão de solda maior que 9,50 mm, o acréscimo de 2,8 mm de penetração a mais do que processo com proteção gasosa ou por eletrodo revestido, na raiz da solda.			

2.6.5 CUSTO DE FABRICAÇÃO

A estimativa de custo é uma previsão das despesas que podem ser efetuadas na fabricação de produtos ou componentes, ou na implementação de novos processos ou operações. Além dos custos de produção, uma estimativa de custo típico inclui a parte administrativa do processo, manuseio, armazenagem, e as despesas de armazenagem, bem como os dados relativos ao lucro [11].

Dados derivados de uma estimativa de custo precisa podem contribuir para as decisões de gestão, tais como: estabelecer o preço de venda de um produto para fins de citação e para a licitação e avaliação de contratos; verificar se um produto proposto pode ser feito e comercializado com lucro, considerando os preços existentes e a concorrência antecipada; determinar se as peças e conjuntos devem ser de fabricação própria ou comprados de um fornecedor externo; a determinação do valor de investimento necessário para a aquisição das ferramentas e equipamentos necessários para a produção de um produto ou de um componente usando um processo, em comparação com outro; escolher o melhor e mais econômico método, processo e materiais para a fabricação do produto; estabelecer uma base para um programa de redução de custos através da demonstração de poupança que estão sendo realizados ou que poderia ser realizado alterando métodos ou processos, ou através da aplicação de técnicas de análise de valor; padrões predeterminantes de desempenho de produção que podem ser usados no início da produção de controlar custos de operação; prevendo os efeitos de mudanças de volume de

produção sobre os lucros futuros, como resultado da introdução de automação, mecanização, ou outras melhorias adequadas para produção em massa [11].

Se a produção envolve um novo produto, os detalhes da estimativa de custo deve incluir este primeiro processo de planejamento formal. Esse processo pode, posteriormente, tornar-se a base para as seguintes decisões: estabelecer as necessidades de pessoal para atender os planos de trabalho futuros; precisa previsão de material para o comprimento de um contrato; definir o cronograma geral ou calendário para o cumprimento das metas da empresa; especificar os equipamentos, máquinas e instalações necessárias para a produção de um produto proposto, nas quantidades necessárias e dentro das limitações de tempo [11].

Custos para soldagem incluem os elementos básicos comuns a outros processos e atividades de fabricação. Em soldagem, no entanto, esses elementos têm muitas variáveis, algumas das quais são exclusivas de um processo de soldagem, enquanto outros podem ser de propriedade de uma empresa. A definição dessas variáveis requer o conhecimento e experiência de pessoas familiarizadas com as disciplinas da engenharia, metalurgia, fabricação e controle de qualidade [11].

As variáveis geralmente consideradas ao estimar os custos de soldagem a arco são listadas na Tabela 7 [11]:

Tabela 7 - Variáveis típicas utilizadas na estimativa de custos para a soldagem processos de soldagem a arco elétrico [11] (Adaptado).

Tempo de Ciclo
Eletrodo ou Fio de Enchimento
Eficiência na Deposição de Eletrodo
Tipo da Junta
Posição de soldagem
Geometria da solda
Tipo da proteção do arco elétrico
Fluxo de Gás
Relação Consumo Fluxo
Corrente de Soldagem
Tensão de soldagem
Eficiência da Fonte de Energia
Tempo de Soldagem
Fator Operador
Taxas de Trabalho
Taxa de Sobrecarga
Custo do Metal de Adição
Custo da Proteção Gasosa
Custos de Instalação
Custos de Inspeção

O custo da soldagem pode ser calculado de forma simplificada conforme a Equação 3 [16].

$$CT = CMO + CC + CE + CM + CD + CMC \quad (3)$$

Onde, CT = custo total; CMO = custo de mão de obra; CC = custo dos consumíveis; CE = custo de energia elétrica; CM = custo de manutenção; CD = custo de depreciação; CMC = custo de outros materiais de consumo [17].

A Figura 18 representa o percentual a que cada custo se representa no cálculo do custo total da soldagem quando considerados os custos fixos de uma empresa. Somados, os custos de mão de obra e os custos dos consumíveis representam cerca de 93% do custo da soldagem. Dependendo da precisão que se deseja alcançar, no cálculo do custo da soldagem podem ser considerados todos os fatores apontados acima ou parte deles [18].

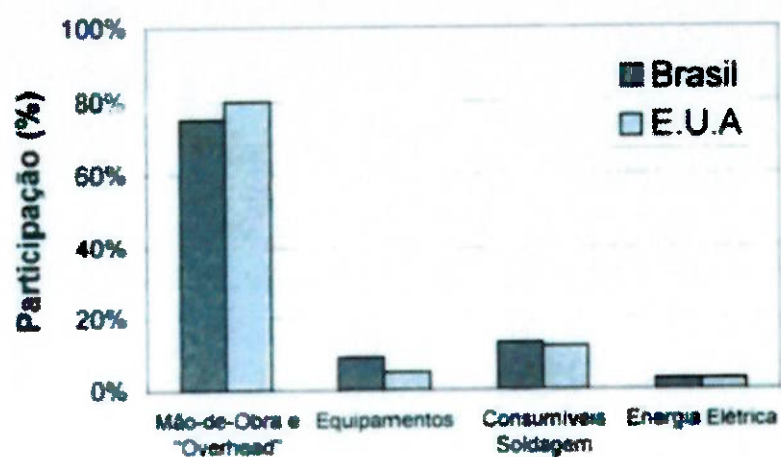


Figura 18 - Parcelas do custo total para a soldagem [18].

3. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo comparar a distorção e a produtividade em vigas "I" soldadas com o processo de soldagem arco submerso com um arame e com dois arames utilizando a técnica Twin-arc.

4. **MATERIAIS E MÉTODOS**

4.1 METAL DE BASE

Para a confecção dos corpos de prova, foram utilizadas chapas de aço ASTM A36 de espessura de 9,5 mm para alma e mesa dos perfis. A Tabela 8 apresenta a composição química de acordo com o certificado recebido na compra do metal de base.

Tabela 8 - Composição química do metal de base segundo fabricante (Certificado do material no Anexo A).

Composição Química do Aço ASTM A36															
C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Nb	V	Ti	Cr	Ni	Sn	N	Ca	Pb
0,05	1,05	0,89	0,034	0,007	0,025	0,09	0,002	0,002	0,002	0,19	0,01	0,003	0,0043	0,0004	0,001

De acordo com a norma NBR 5884 [5], foram cortadas pelo processo de corte à plasma seis (6) tiras desta mesma chapa com 250,0 mm de largura, 3000,0 mm de comprimento e 9,5 mm de espessura conforme a Figura 19. Após o término do corte, foi feito acabamento ao longo do contorno do metal de base e para a retirada de possíveis defeitos causados pelo processo de corte.



Figura 19 - Tiras de chapas para confecção de perfis "I".

4.2 CONSUMÍVEL DE SOLDAGEM

De acordo com o metal de base, os consumíveis selecionados para fabricação de perfis soldados são arame AWS EM12K de 2,4 mm de diâmetro e fluxo 77 da marca Lincoln Electric® classificação AWS F7AZ. A composição química do arame do fluxo e as propriedades mecânicas seguem nas Tabelas 9 e 10 respectivamente:

Tabela 9 - Composição química do arame e do fluxo segundo fabricante (Certificado do consumível no Anexo B).

Composição do Arame							
C%	Mn%	Si%	S%	P%	Cr%	Ni%	Cu%
0,06	0,41	0,01	0,007	0,010	0,018	0,011	0,12

Tabela 10 - Propriedades mecânicas segundo fabricante do eletrodo consumível (Certificado do consumível no Anexo B).

Condições conforme AWS A5.17		
Limite de Resistência	(MPa)	520
Limite de escoamento	(MPa)	420
Alongamento	(%)	30
Ensaio de Impactos a 0°C	(J)	88,84,90 – Média 87,3

4.3 EXECUÇÃO DA SOLDAGEM

A soldagem foi executada sem pré-aquecimento, na posição plana pelo processo de arco submerso nos dois lados da junta simultaneamente. Foram realizados dois perfis I como corpos de prova, um com arame simples e outro com dois arames utilizando a técnica Twin-arc. Na Figura 20, podemos ver a ilustração da primeira execução de soldagem na confecção inicial do perfil "I" na forma da junta em ângulo em "T" e na Figura 21 a segunda execução de soldagem concluindo o perfil "I".

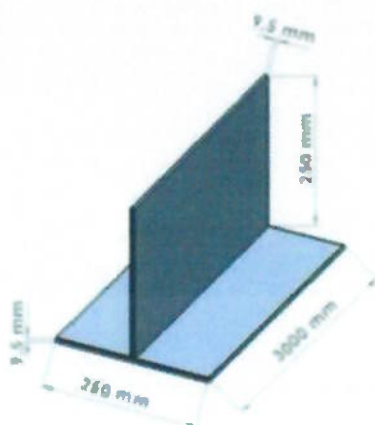


Figura 20 - Primeira execução de soldagem na confecção inicial do perfil "I".

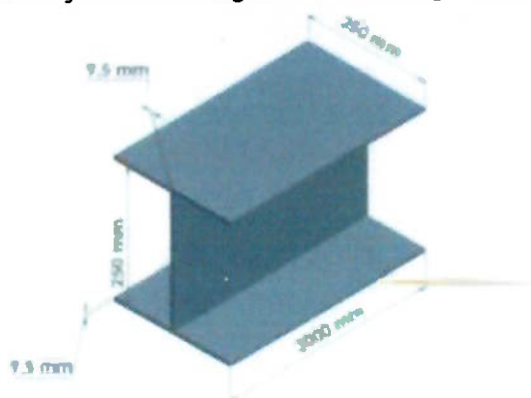


Figura 21 - Segunda execução de soldagem concluindo o perfil "I".

Para execução de soldagem na confecção das juntas em "T" e "I" com 1 e 2 arames foram monitorados os seguintes parâmetros: Tensão, Corrente, Velocidade de Soldagem, Velocidade de alimentação do arame e Tempo de soldagem. Conforme Tabela 11 abaixo:

Tabela 11 - Parâmetros CP1.

	Tensão (V)	Corrente (A)	Velocidade de Soldagem (cm/min)	Velocidade de Alimentação do Arame (cm/min)	Tempo de Arco Aberto (min)
Arame Simples T A	28,3	500	64	86	4'12"
Arame Simples T B	28,5	450	64	87	4'12"
Arame Simples I A	28,3	500	64	86	4'28"
Arame Simples I B	28,5	450	64	87	4'28"
Twin-arc T A	26,6	750	80	81	3'21"
Twin-arc T B	26,4	700	80	80	3'21"
Twin-arc I A	26,7	750	80	81	3'35"
Twin-arc I B	26,3	700	80	80	3'35"

4.3.1 EQUIPAMENTOS

Os corpos de prova foram feitos em uma máquina de fabricação de perfis soldados, TBM do fabricante CMM, mostrada na Figura 22. O equipamento consiste de um sistema mecânico e hidráulico para montagem da junta em ângulo e controle dimensional do perfil durante a soldagem.



Figura 22 - Máquina de fabricação de Perfis. Fabricante CMM.

Os equipamentos de soldagem são duas fontes DC1000 e um cabeçote de controle NA-5 do fabricante Lincoln Figura 23. A fonte DC-1000 é um equipamento multi-processo capaz de soldar até dois arames de 2,4 mm de diâmetro. As informações técnicas da fonte DC-1000 estão na Tabela 12.



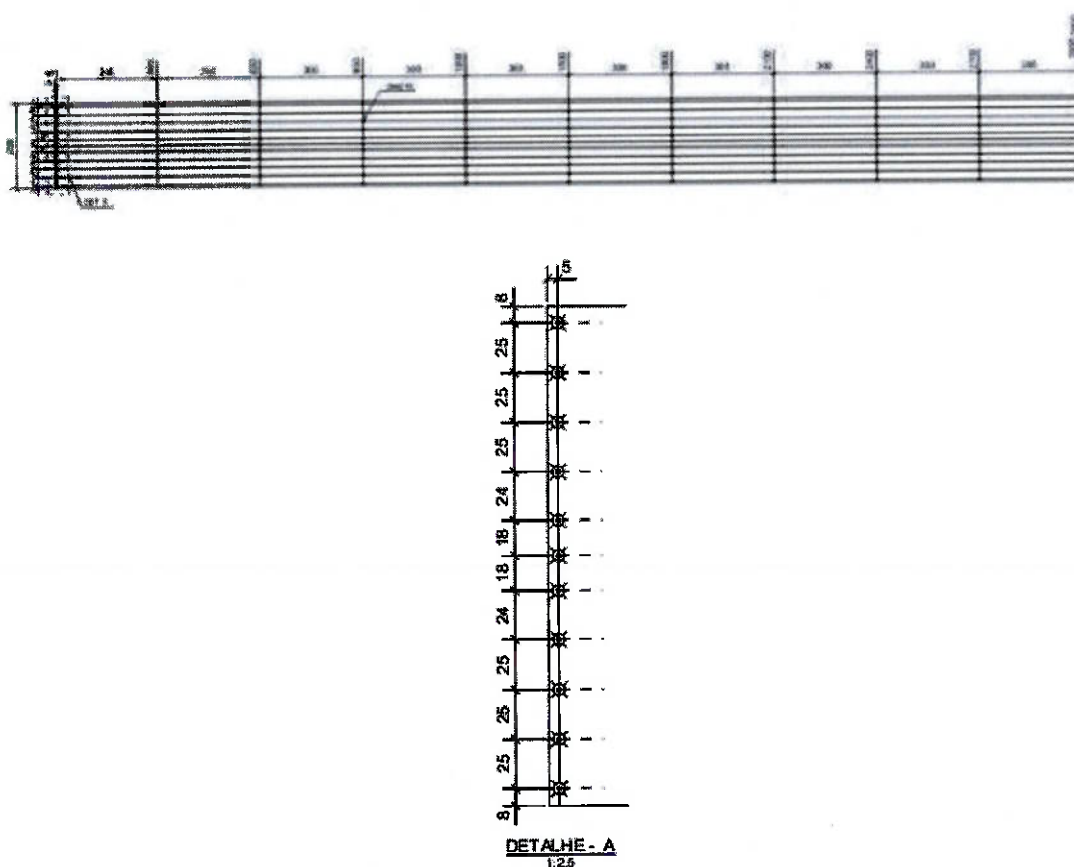
Figura 23 - Fonte de Soldagem Lincolnelectric DC-1000.

Tabela 12 - Especificações técnicas da fonte de Soldagem DC-1000.

Nome do produto	Corrente(A)/Tensão(V)/ Ciclo a 100%	Range de saída	Peso do equipamento (kg)	Dimensões H x W x D (mm)
Idealarc DC 1000	1000A / 44V / 100%	16 - 46 (V) 150 - 1300 (A)	372	781 x 522 x 991

4.4 TÉCNICA UTILIZADA PARA MEDIÇÃO DAS DEFORMAÇÕES

Em cada uma das seis (6) tiras de chapa foram confeccionadas em apenas um lado a malha contendo onze linhas e onze colunas de 121 pontos por sinetes conforme a Figura 24. Cada tira foi marcada com as seguintes referências M1, M2, M3, M4, A1 e A2 representando as mesas e almas dos perfis soldados.

**Figura 24** - Malha de pontos para medição de deformação (Anexo C).

Observa-se que a tabela 13 apresenta como foi efetuada a montagem de cada tira de chapa de acordo com a composição do perfil soldado por um ou dois arames.

Tabela 13 – Definição da divisão dos experimentos.

Experimento	Processo de Soldagem	Partes de Cada CP		Energia de Soldagem (KJ/mm)	
1 Arame	Arco Submerso com 1 Arame	M3	Mesa 3	1,1	
		M4	Mesa 4	1,2	
		A1	Alma 1	1,1	1,2
2 Arames	Arco Submerso com 2 Arames	M1	Mesa 1	1,3	
		M2	Mesa 2	1,4	
		A2	Alma 2	1,3	1,4

Cada malha possui uma origem de referência para os eixos de coordenadas X, Y e Z. Essa origem é pré-estabelecida pelo ponto central mais próximo da região de ponteamto realizado antes da soldagem de fabricação dos perfis conforme Figura 25.

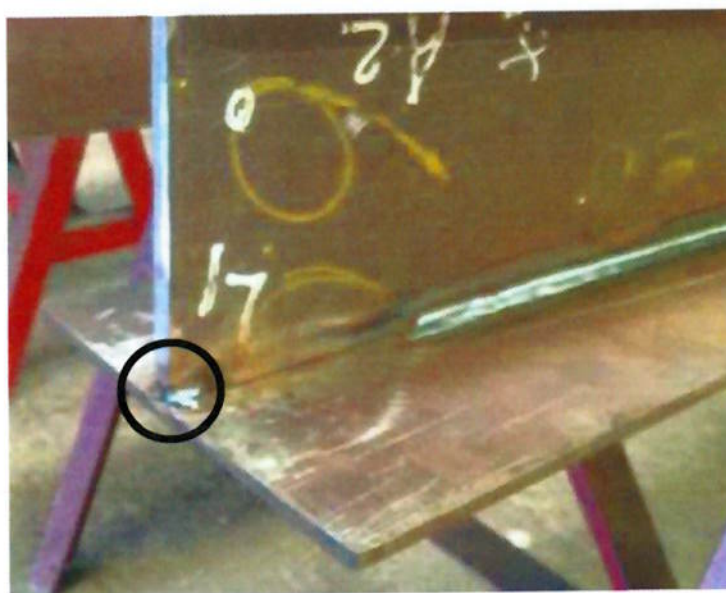


Figura 25 – Ponteamto de referência.

Para analisar a deformação, foram realizadas medições para cada ponto de cada chapa a partir do ponto de referência antes da soldagem, após a execução da soldagem inicial "T" e ao término da fabricação do perfil "I". As

medições foram realizadas por um inspetor dimensional com trena calibrada, escalas de medição de 100 a 2000,0 mm, linha de referência de nylon e esquadro conforme Figura 26. Todas as medições coletadas estão nas tabelas do Anexo D.



Figura 26 – Ferramentas de medição.

4.5 METODOLOGIA DE CÁLCULO DE CUSTOS

Para analisar o custo de fabricação de perfis soldados, foi escolhida uma abordagem simplificada para que fosse possível comparar os valores de cada etapa igualmente para fabricação com arame simples e dois arames.

O custo total CT é dado pela soma do Custo de mão-de-obra, CMO, Custo de Consumíveis, CC, e pelo Custo da Energia elétrica, CE.

$$CT = CMO + CC + CE \quad (4)$$

O Custo de mão-de-obra CMO é dado pela multiplicação entre o valor unitário em Reais por hora do operador soldador e o tempo de soldagem em horas.

$$\text{CMO (R\$)} = (\text{custo unitário}) (\text{R\$/h}) \times \text{tempo de soldagem (h)} \quad (5)$$

O Custo de consumíveis é dado pela soma Custo do Metal de Adição, CMA, Custo do Fluxo, CF, e do Custo do Gás, CG. Para o processo de soldagem por Arco-Submerso o Custo do Gás é nulo. O Custo do fluxo é dado por uma razão de 1kg de fluxo para 1kg de metal de adição depositado. O custo do metal de adição é dado pelo Custo do Metal depositado, CMD, dividido pela eficiência de deposição do processo de soldagem, ED.

$$\text{CC(R\$)} = \text{CMA(R\$)} + \text{CF(R\$)} + \text{CG(R\$)} \quad (6)$$

O Custo de Energia Elétrica é dado pelo Preço da energia elétrica, PE, na região multiplicado pela Potência elétrica de saída, PES, do equipamento e pelo tempo de arco aberto, T, dividido pela eficiência do processo de soldagem, E.

$$\text{CE(R\$)} = [\text{PE(R\$/kWh)} \times \text{PES (kW)} \times \text{T(h)}] / (\text{E} \times 1000) \quad (7)$$

Cada etapa da metodologia do cálculo do custo de fabricação adotada está demonstrada junto com a apresentação dos resultados.

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

A deformação causada pela soldagem utilizando a técnica com arame simples e duplo arame twin-arc foram analisadas em cada uma das seis chapas que compõe os perfis soldados separadamente. A deformação no eixo X é nula e por isso serão abordados apenas os eixos Y e Z. Valores negativos ou positivos identificam apenas o sentido da deformação ocorrida. Isso ocorre devido à montagem de cada chapa no perfil. Dessa forma, a maior deformação é avaliada de acordo com o sentido que ela ocorreu. Para uma avaliação rápida dos valores de deformação foram destacados nos gráficos padrões de tolerâncias de acordo com a norma NBR 5884, sendo 4,0 mm para Padrão 3 e de 3,0 mm para Padrão 1 e 2.

As tabelas que apresentam os valores de medições iniciais, intermediárias e finais para cada ponto marcado nas chapas podem estar com a linha intermediária não preenchida. Isso ocorre devido a soldagem da última tira de chapa que compõe o perfil soldado, pois estas chapas não sofrem deformação intermediária, apenas a inicial e a final.

Para visualizar o comportamento da deformação, cada chapa foi representada pela malha desenhada no software Tekla-Structures®. Como se trata de uma chapa com comprimento de 3000,0 mm, as deformações nos eixos Y e Z são muito pequenas entre 1,0 e 8,0 mm e não é possível sua visualização. Portanto, utilizamos um fator de escala variando de forma crescente de 1 para a primeira coluna até 6 na coluna número 6 e de forma decrescente da coluna 6 até a 11 para ilustrar o comportamento da deformação.

5.1 DEFORMAÇÃO CAUSADA PELA SOLDAGEM UTILIZANDO UM ARAME

5.1.1 MESA 3

A Tabela 14 resume os valores máximos, mínimos e médios das deformações ocorridas para cada uma das onze linhas formada pela malha para os eixos Y e Z. Observa-se que para o eixo Z as maiores deformações ocorreram no sentido negativo.

Tabela 14 - Valores máximos, mínimos e médios das deformações ocorridas.

Etapa	Z (mm)			Y (mm)		
	Menor valor negativo	Maior valor positivo	Média para cada linha	Menor valor negativo	Maior valor positivo	Média para cada linha
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário						
Final	-0,5	0	-0,1	1	1	1,1
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário						
Final	-0,5	0,5	-0,1	1	1,5	1,1
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário						
Final	-0,5	0	-0,2	0,5	1,5	1,1
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário						
Final	-1	0	-0,3	0	1,5	1,1
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário						
Final	-1,5	0	-0,6	0	1,5	1,1
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário						
Final	-1,5	0	-0,6	-2	1,5	-0,8
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário						
Final	-1,5	0	-0,7	0,5	0	1,1
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário						
Final	-1,5	0	-0,7	0	1,5	1,1
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário						

Final	-1	0	-0,5	0,5	2	1,1
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário						
Final	-1	0	-0,4	0,5	2	1,1
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário						
Final	-1	0	-0,4	1	1,5	1,1

A Tabela 15 mostra o maior valor de deformação ocorrido na mesa 3 para cada eixo. Observa-se que nesse caso houve uma deformação maior no sentido negativo do eixo Z.

Tabela 15 - Análise de dados mesa 3.

Análise de dados mesa 3		
Parâmetro	Z (mm)	Y (mm)
Maior valor negativo	-1,5	-2
Maior valor positivo	0,5	2
Média dos valores médios de deformação	-0,2	0,5

A Figura 27 identifica a maior deformação ocorrida e a média geral das deformações para os eixos Y e Z utilizando como base os valores da Tabela 15. A Figura 28 e 29 ilustram a realidade das deformações ocorridas com fator de escala para que seja possível a visualização na etapa inicial, antes da soldagem e na etapa final, após a soldagem para a mesa 3.

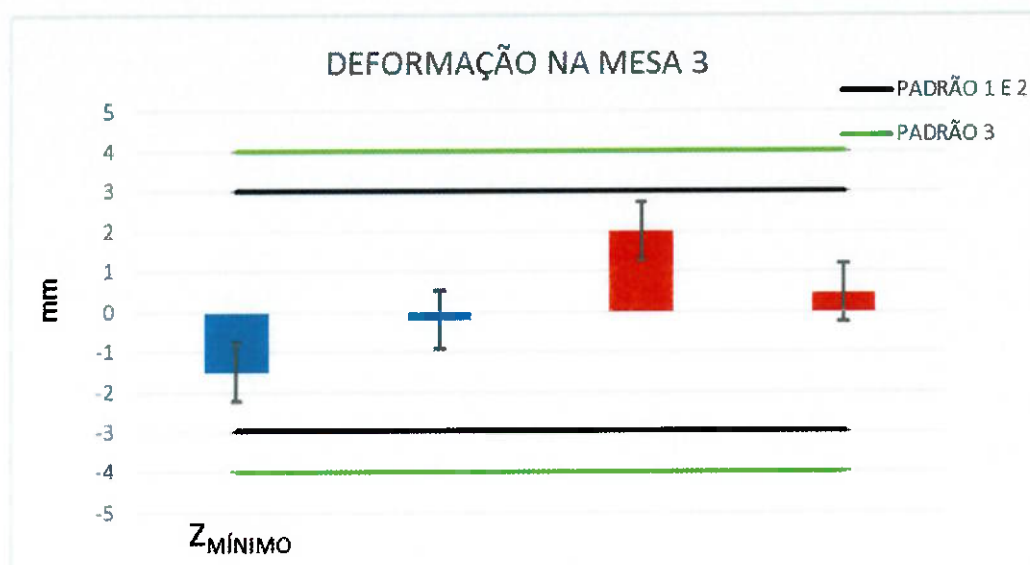


Figura 27 – Deformação ocorrida na mesa 3 para os eixos Y e Z em comparação com os padrões definidos pela Norma NBR5884 e suas respectivas barras de desvio padrão.

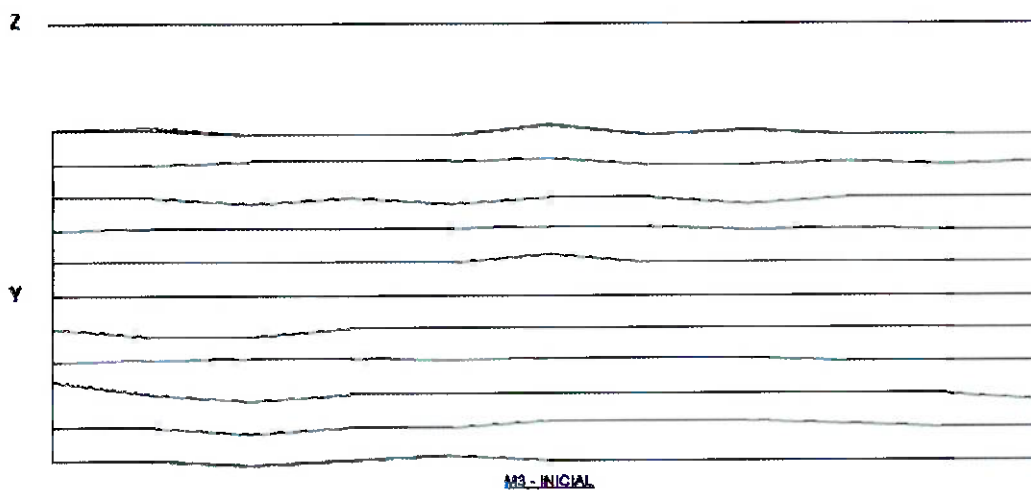


Figura 28 – Ilustração da deformação para os eixos Y e Z da mesa 3 na condição inicial da chapa.

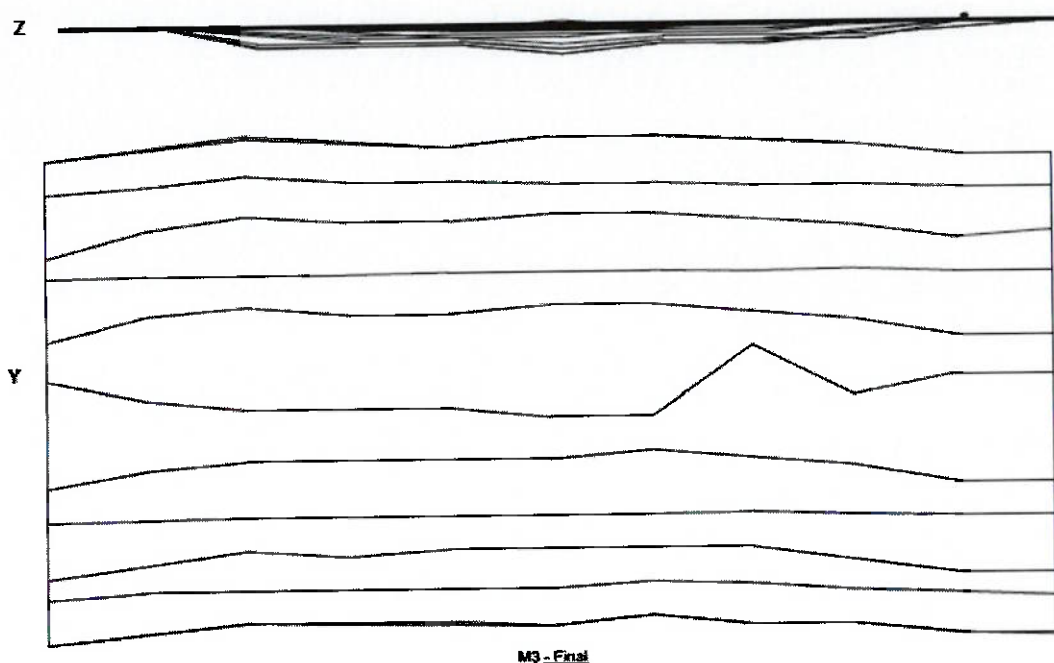


Figura 29 – Ilustração da deformação para os eixos Y e Z da mesa 3 na condição final da chapa.

5.1.2 MESA 4

A Tabela 16 resume os valores máximos, mínimos e médios das deformações ocorridas para cada uma das onze linhas formada pela malha para os eixos Y e Z. Observa-se que para o eixo Y as maiores deformações ocorreram no sentido negativo.

Tabela 16 - Valores máximos, mínimos e médios das deformações ocorridas.

Etapa	Z (mm)			Y (mm)		
	Menor valor	Maior valor positivo	Média para cada linha	Menor valor negativo	Maior valor positivo	Média para cada linha
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	5	2,8	-2	0	-1,2
Final	0	2	1,4	-1,5	0	-0,6
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	5	2,7	-2	0	-1,2
Final	0	2	1,3	-1,5	0	-0,7
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	5	2,5	-2	0	-1,2
Final	0	2	1,3	-1,5	0	-0,7
Inicial	0	0	0	0	0	0

Intermediário	0	5	2,8	-2	0	-1,2
Final	0	1,5	1,2	-1,5	0	-0,7
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	5	2,9	-1	0	-1,2
Final	0	1	0,7	-0,5	0	-0,7
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	4,5	2,7	-2	0	-1,2
Final	0	1	0,7	-1,5	0	-0,7
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	5	2,9	-2	0	-1,2
Final	0	1	0,7	-1	0	-0,7
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	5	2,9	-2	0	-1,2
Final	0	1	0,8	-1	0	-0,7
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	5	3	-2	0	-1,2
Final	0	2	1,3	-1	0	-0,7
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	5,5	3,4	-2	0	-1,2
Final	0	2	1,2	-1	0	-0,7
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	5	3,3	-2	0	-1,2
Final	0	2	1,3	-1,5	0	-0,7

A Tabela 17 mostra o maior valor de deformação ocorrido na mesa 4 para cada eixo e a média geral. Observa-se que nesse caso houve uma deformação maior no sentido positivo do eixo Z.

Tabela 17 - Análise de dados mesa 4.

Análise de dados mesa 4		
Parâmetro	Z (mm)	Y (mm)
Maior valor negativo	0	-2
Maior valor positivo	5,5	0
Média dos valores médios de deformação	1,3	-0,6

A Figura 30 identifica a maior deformação ocorrida e a média geral das deformações para os eixos Y e Z utilizando como base os valores da Tabela 17. A Figura 31, 32 e 33 ilustram as realidades das deformações ocorridas com

fator de escala para que seja possível a visualização nas etapas inicial, intermediária e final para a mesa 4.

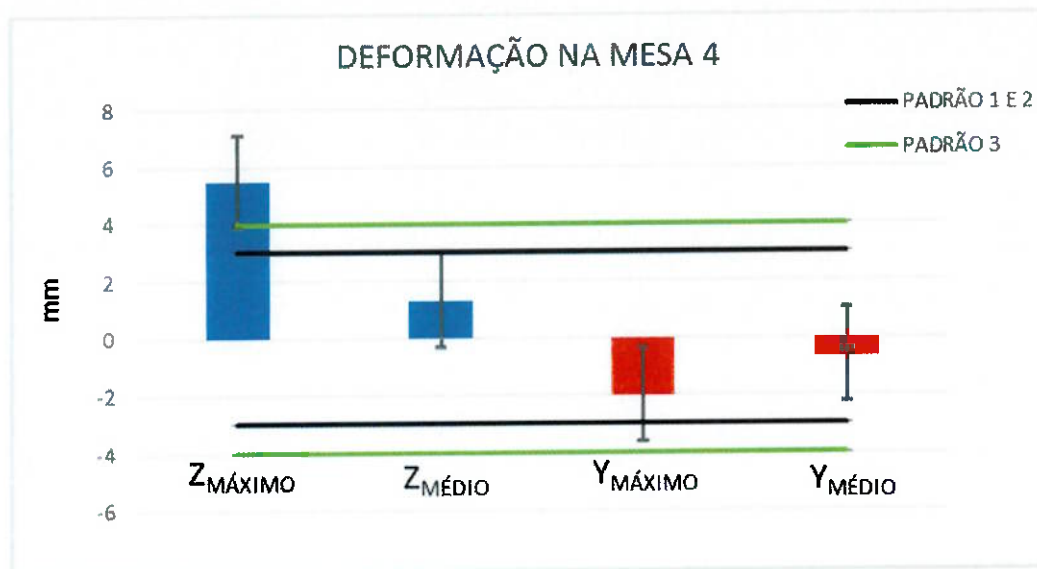


Figura 30 - Deformação mesa 4 para os eixos Y e Z em comparação com os padrões definidos pela Norma NBR5884 e suas respectivas barras de desvio padrão.

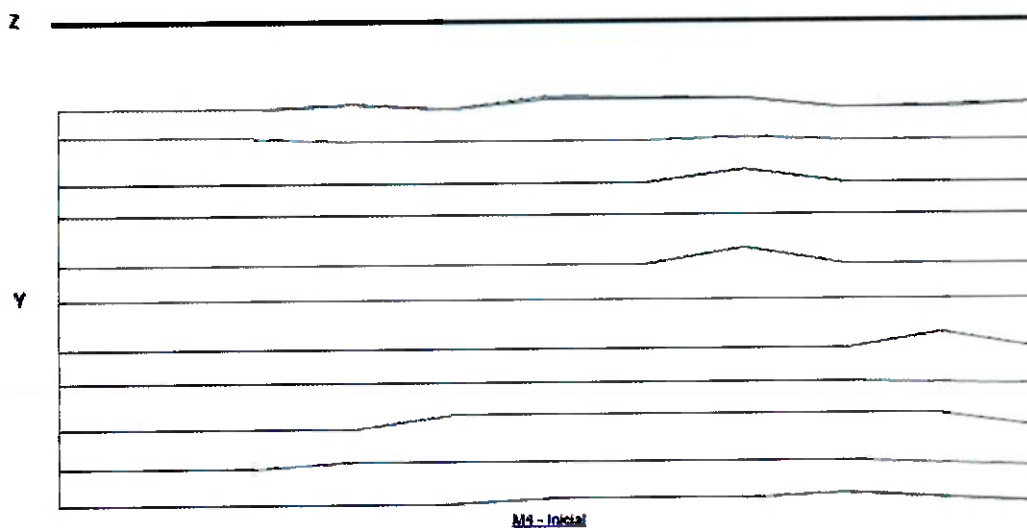


Figura 31 – Ilustração da condição inicial da chapa com fator de escala para a mesa 4.

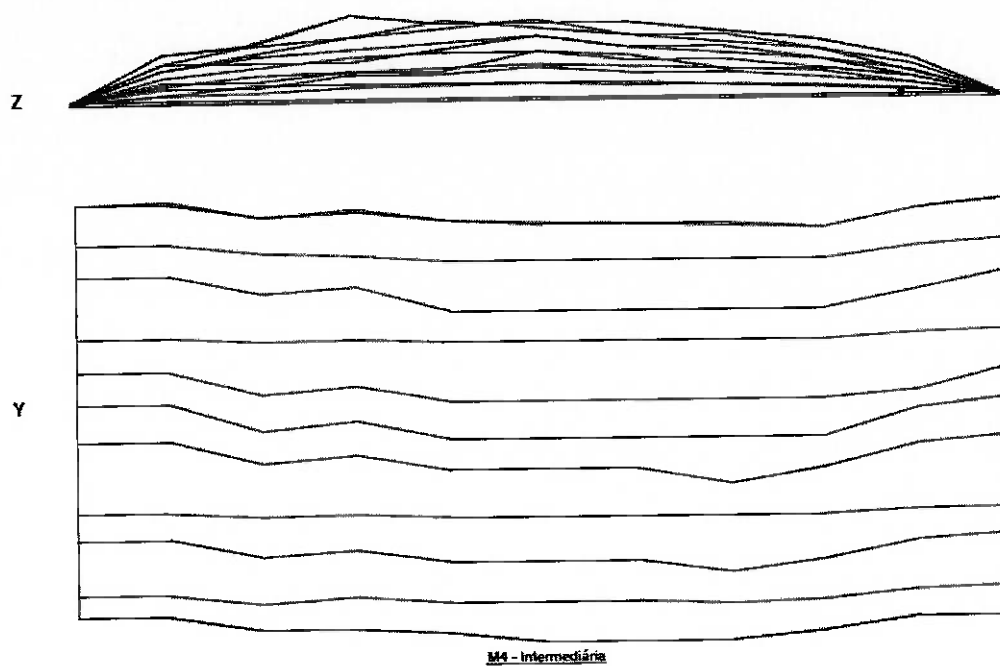


Figura 32 - Ilustração da condição intermediária da chapa com fator de escala após a primeira soldagem para a mesa 4.

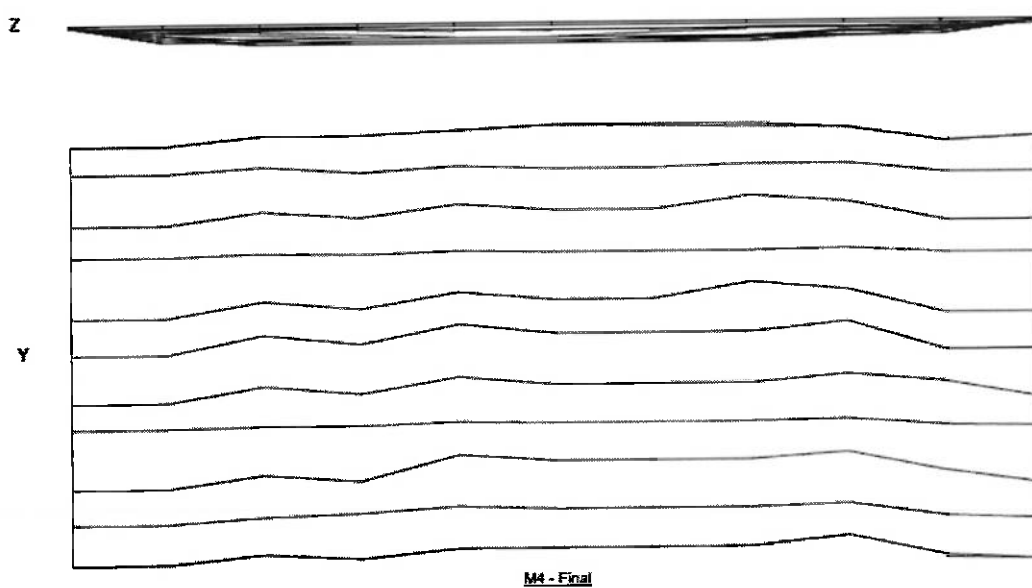


Figura 33 – Ilustração da condição final da chapa com fator de escala após a segunda soldagem para a mesa 4.

A Tabela 18 mostra o maior valor de deformação médio ocorrido na Mesa 4 para cada eixo nas condições intermediária e final. Observa-se que nesse caso houve uma deformação maior no sentido positivo do eixo Z.

Tabela 18 - Análise de dados mesa 4.

Análise de dados mesa 4		
Parâmetro	Z (mm)	Y (mm)
Média do maior valor intermediário	5	
Média do menor valor intermediário		-1,9
Média do maior valor final	1,6	
Média do menor valor final		-1,3

A Figura 34 compara a deformação ocorrida devido à primeira soldagem que forma a viga "T" e a segunda soldagem que termina a fabricação do perfil "I" soldado para os eixos Y e Z utilizando como base os valores da Tabela 18.

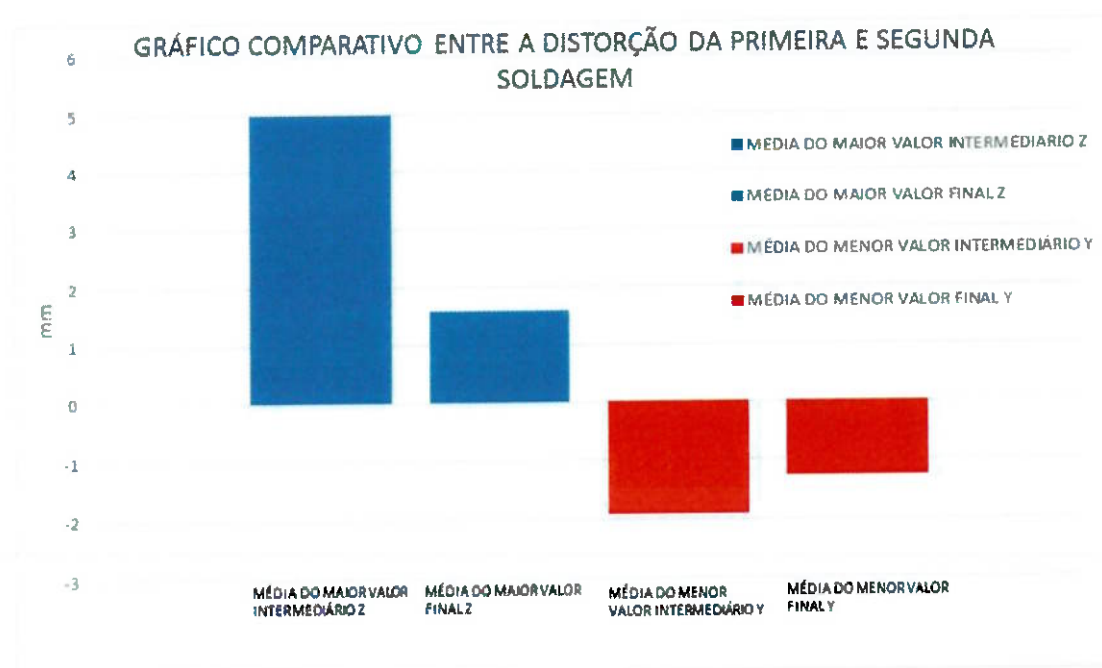


Figura 34 – Gráfico Comparativo entre a distorção da primeira e segunda soldagem.

5.1.3 ALMA 1

A Tabela 19 resume os valores máximos, mínimos e médios das deformações ocorridas para cada uma das onze linhas formada pela malha para os eixos Y e Z. Observa-se que para os eixos Y e Z as maiores deformações ocorreram no sentido positivo dos eixos.

Tabela 19 - Valores máximos, mínimos e médios das deformações ocorridas.

Etapa	Z (mm)			Y (mm)		
	Menor valor	Maior valor positivo	Média para cada linha	Menor valor negativo	Maior valor positivo	Média para cada linha
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	2,5	1,2	0	4	1,6
Final	0	2	0,8	0	1	0,3
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	3	1,3	0	3,5	1,6
Final	0	2	0,9	0	1	0,3
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	2,5	1,3	0	4	1,6
Final	0	2	1,2	0	1	0,3
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	3	1,3	0	4	1,8
Final	0	3	1,4	0	1	0,3
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	3	1,3	0	4	1,6
Final	0	3	1,3	0	1	0,3
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	2,5	1,2	0	4	1,6
Final	0	2	1,3	0	1	0,3
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	3	1,3	0	0	1,6
Final	0	3	1,5	0	0	0,3
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	3	1,3	0	4	1,6
Final	0	3	1,3	0	1	0,1
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	3	1,3	0	4	1,6
Final	0	3	1,3	0	1	0,3
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	3	1,4	0	4	1,6
Final	0	3	1,4	0	1	0,3
Inicial	0	0	0	0	0	0

Intermediário	0	3	1,3	0	4	1,6
Final	0	3	1,3	0	1	0,3

A Tabela 20 mostra o maior valor de deformação ocorrido na Alma 1 para cada eixo e a média geral. Observa-se que nesse caso houve uma deformação maior no sentido positivo do eixo Y.

Tabela 20 - Análise de dados alma 1.

Análise de dados alma 1		
Parâmetro	Z (mm)	Y (mm)
Maior valor negativo	0	0
Maior valor positivo	3	4
Média dos valores médios de deformação	0,8	0,6

A Figura 35 identifica a maior deformação ocorrida e a média geral das deformações para os eixos Y e Z utilizando como base os valores da Tabela 20. As Figuras 36, 37 e 38 ilustram as realidades das deformações ocorridas com fator de escala para que seja possível a visualização nas etapas inicial, intermediária e final para a alma 1.

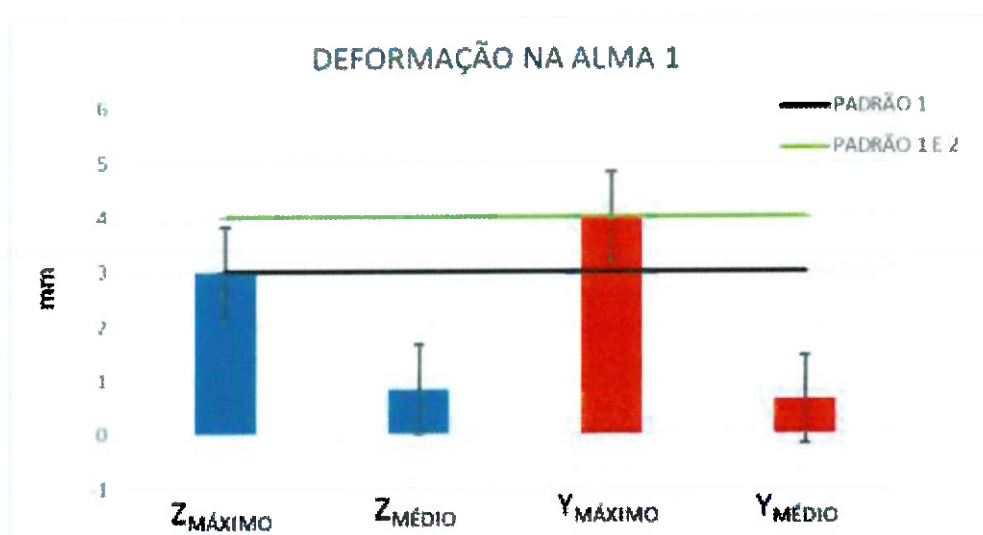


Figura 35 – Deformação alma 1 para os eixos Y e Z em comparação com os padrões definidos pela Norma NBR5884 e suas respectivas barras de desvio padrão.

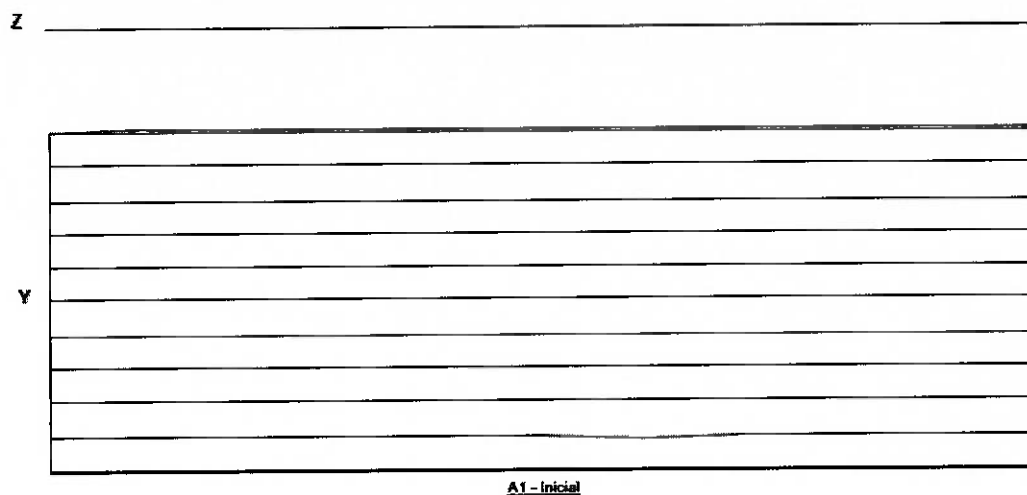


Figura 36 – Ilustração da condição inicial da chapa com fator de escala.

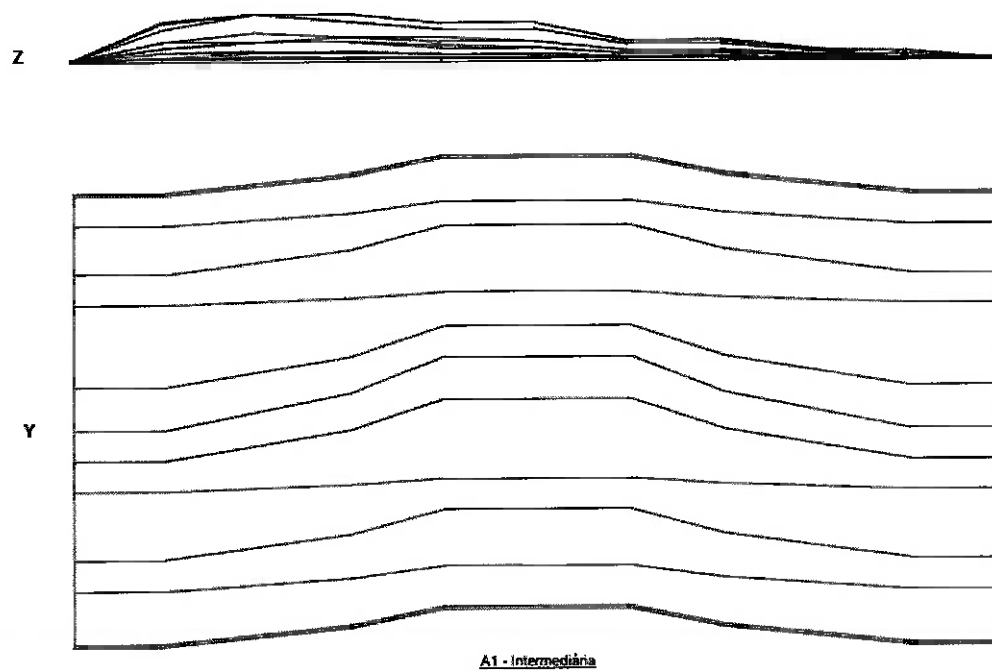


Figura 37 – Ilustração da condição intermediária da chapa com fator de escala após a primeira soldagem.

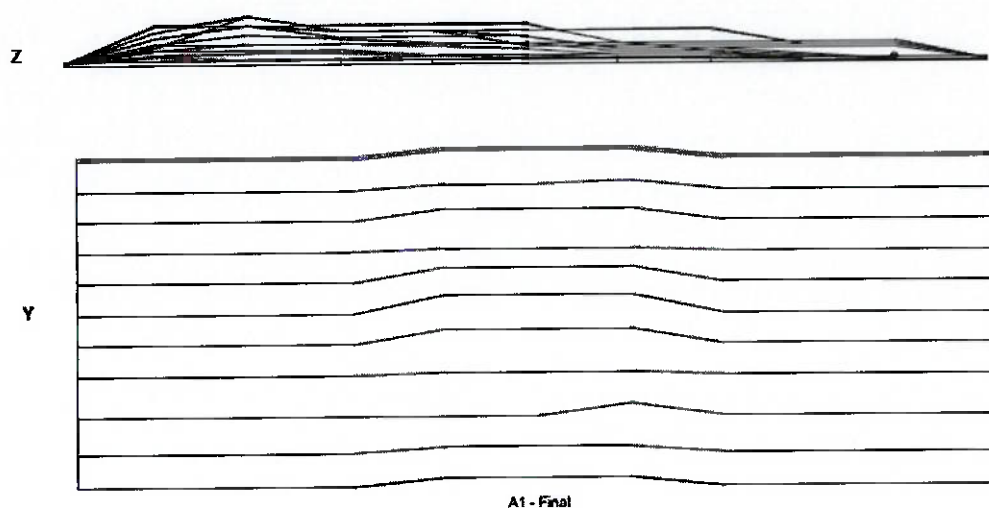


Figura 38 – Ilustração da condição final da chapa com fator de escala após a segunda soldagem.

A Tabela 21 mostra o maior valor de deformação médio ocorrido na Alma 1 para cada eixo nas condições intermediária e final. Observa-se que nesse caso houve uma deformação maior no sentido positivo do eixo Y.

Tabela 21 - Análise de dados alma 1.

Análise de dados alma 1		
Parâmetro	Z (mm)	Y (mm)
Média do maior valor intermediário	2,9	3,6
Média do menor valor intermediário		
Média do maior valor final	2,6	1,2
Média do menor valor final		

A Figura 39 compara a deformação ocorrida devido a primeira soldagem que forma a viga "T" e a segunda soldagem que termina a fabricação do perfil "I" soldado utilizando como base os valores da Tabela 21.

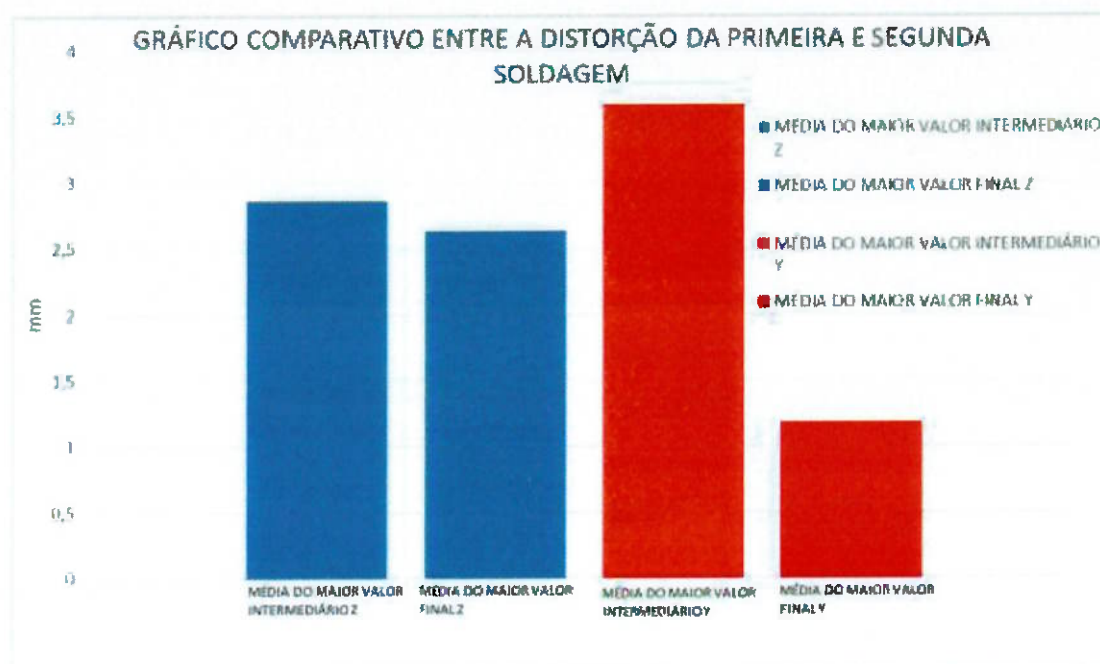


Figura 39 – Comparativo entre a distorção da primeira e segunda soldagem.

5.2 DEFORMAÇÃO CAUSADA PELA SOLDAGEM UTILIZANDO DOIS ARAMES

5.2.1 MESA 1

A Tabela 22 resume os valores máximos, mínimos e médios das deformações ocorridas para cada uma das onze linhas formada pela malha para os eixos Y e Z. Observa-se que para o eixo Z as maiores deformações ocorreram no sentido negativo e para o eixo Y no sentido positivo.

Tabela 22 - Valores máximos, mínimos e médios das deformações ocorridas.

Etapa	Z (mm)			Y (mm)		
	Menor valor negativo	Maior valor positivo	Média para cada linha	Menor valor positivo	Maior valor positivo	Média para cada linha
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário						
Final	-2	0	-0,8	0	1	0,3
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário						
Final	-2	0	-0,8	0	1	0,3

Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário						
Final	-2	0	-0,9	0	0	0,3
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário						
Final	-2	0	-1,1	0	1	0,3
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário						
Final	-2	0	-0,9	0	1	0,4
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário						
Final	-2	0	-0,9	0	1	0,3
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário						
Final	-1	0	-0,4	0	0	0,3
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário						
Final	-1	0	-0,4	0	1	0,3
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário						
Final	-1	0	-0,4	0	1	0,3
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário						
Final	-1	0	-0,3	0	1	0,3
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário						
Final	-1	0	-0,3	0,5	1	0,3

A Tabela 23 mostra o maior valor de deformação ocorrido na Mesa 1 para cada eixo e a média geral. Observa-se que nesse caso houve uma deformação maior no sentido positivo do eixo negativo do eixo Z.

Tabela 23 - Análise de dados mesa 1.

Análise de dados mesa 1		
Parâmetro	Z (mm)	Y (mm)
Maior valor negativo	-2	0
Maior valor positivo	0	1
Média dos valores médios de deformação	-0,3	0,2

A Figura 40 identifica a maior deformação ocorrida e a média geral das deformações para os eixos Y e Z utilizando como base os valores da Tabela 23.

As Figuras 41 e 42 ilustram as realidades das deformações ocorridas com fator de escala para que seja possível a visualização nas etapas inicial, intermediária e final para a Mesa 1.

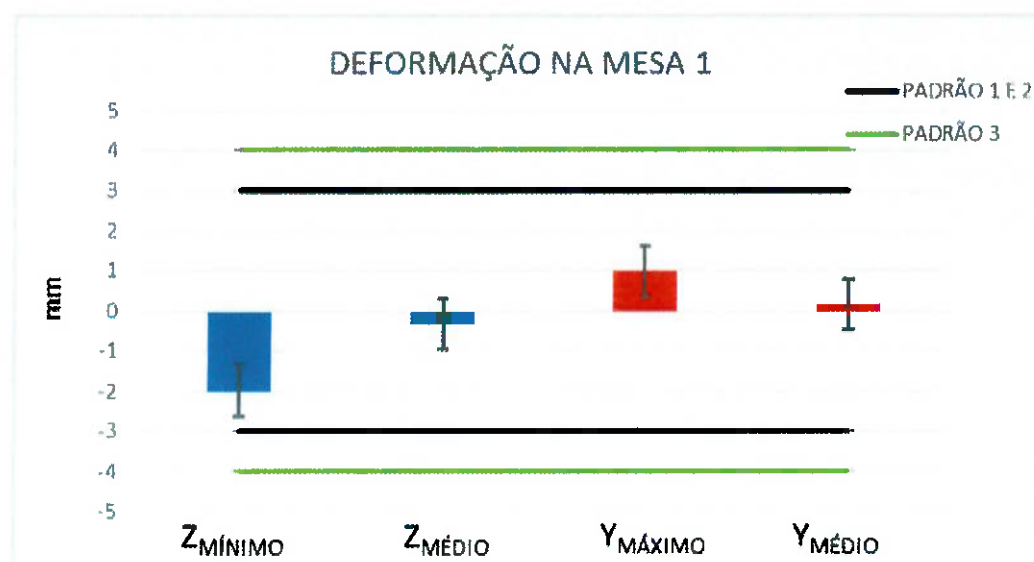


Figura 40 – Deformação na mesa 1 para os eixos Y e Z em comparação com os padrões definidos pela Norma NBR5884 e suas respectivas barras de desvio padrão.

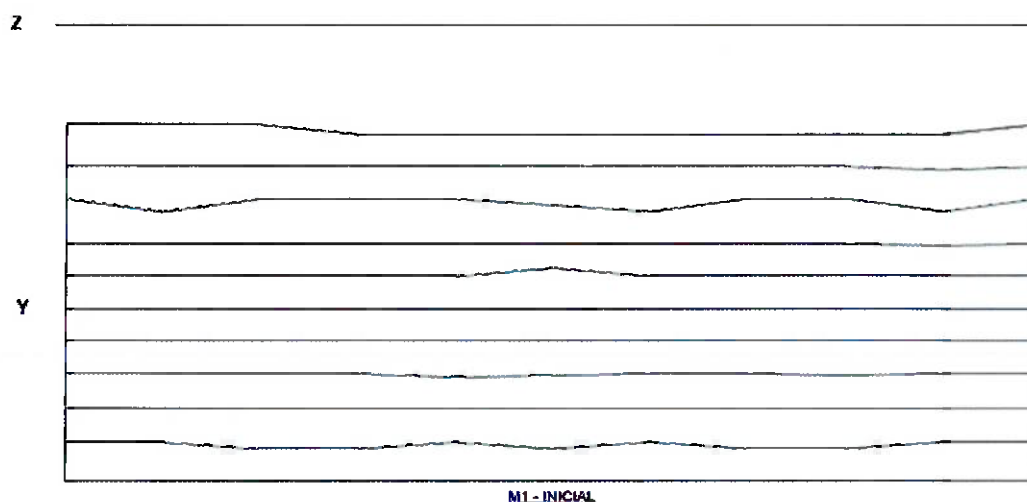


Figura 41 – Ilustração da deformação para os eixos Y e Z da mesa 1 na condição inicial da chapa.

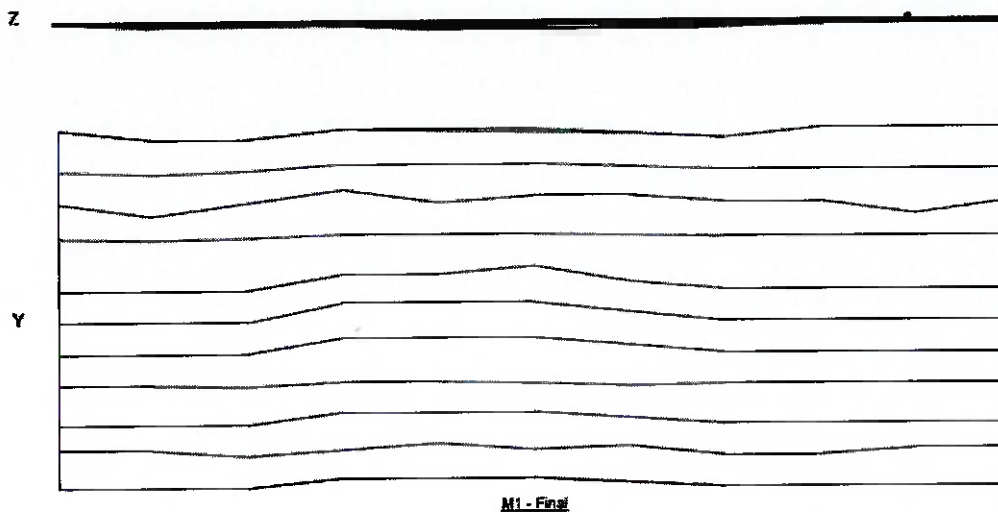


Figura 42 – Ilustração da deformação para os eixos Y e Z da mesa 3 na condição final da chapa.

5.2.2 MESA 2

A Tabela 24 resume os valores máximos, mínimos e médios das deformações ocorridas para cada uma das onze linhas formada pela malha para os eixos Y e Z. Observa-se que para o eixo Y as maiores deformações ocorreram no sentido negativo e no sentido positivo para o eixo Z.

Tabela 24 - Valores máximos, mínimos e médios das deformações ocorridas.

Etapa	Z (mm)			Y (mm)		
	Menor valor	Maior valor positivo	Média para cada linha	Menor valor negativo	Maior valor positivo	Média para cada linha
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	8	4,5	0,5	1,5	0,5
Final	0	4	2,4	-0,5	0	-0,4
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	7	4,2	0	1,5	0,5
Final	0	3	1,8	-1	0	-0,5
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	6	3,6	0	1,5	0,5
Final	0	3	1,7	-1	0	-0,5
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	6	3,3	-2	2	0,2

Final	0	2	1,2	-4	0	-0,8
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	5	2,7	0	2	0,5
Final	0	2	0,9	-2	0	-0,5
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	5	2,5	-2	0	-0,5
Final	0	2	1	-4	0	-1,3
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	5	3	0	0	0,5
Final	0	2	1,2	-1	0	-0,5
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	6	3,5	0	2	0,5
Final	0	3	1,6	-1	0	-0,5
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	6	3,5	0	2	0,5
Final	0	3	1,8	-2	0	-0,5
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	7	4	0	1,5	0,5
Final	0	5	2,8	-1	0	-0,5
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	7	3,9	0	0,5	0,5
Final	0	5	3,2	-1,5	0	-0,5

A Tabela 25 mostra o maior valor de deformação ocorrido na mesa 2 para cada eixo e a média geral. Observa-se que nesse caso houve uma deformação maior no sentido positivo do eixo Z.

Tabela 25 - Análise de dados mesa 2.

Análise de dados mesa 2		
Parâmetro	Z (mm)	Y (mm)
Maior valor negativo	0	-4
Maior valor positivo	8	2
Média dos valores médios de deformação	1,8	-0,1

A Figura 43 identifica a maior deformação ocorrida e a média geral das deformações para os eixos Y e Z utilizando como base os valores da Tabela 25. A Figura 44, 45 e 46 ilustram as realidades das deformações ocorridas com

fator de escala para que seja possível a visualização nas etapas inicial, intermediária e final para a mesa 2.

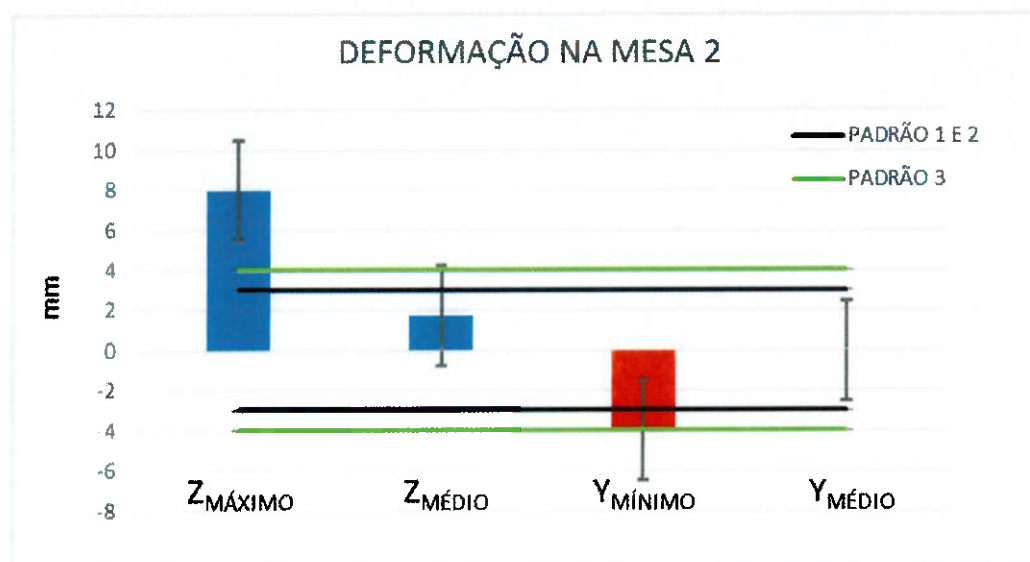


Figura 43 – Deformação mesa 2 para os eixos Y e Z em comparação com os padrões definidos pela Norma NBR5884 e suas respectivas barras de desvio padrão.

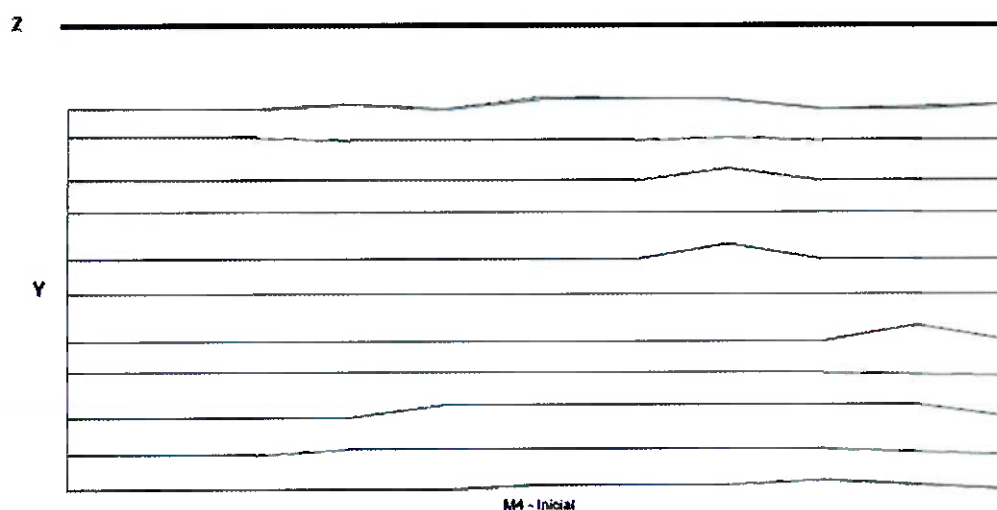


Figura 44 – Ilustração da condição inicial da chapa com fator de escala para a mesa 2.

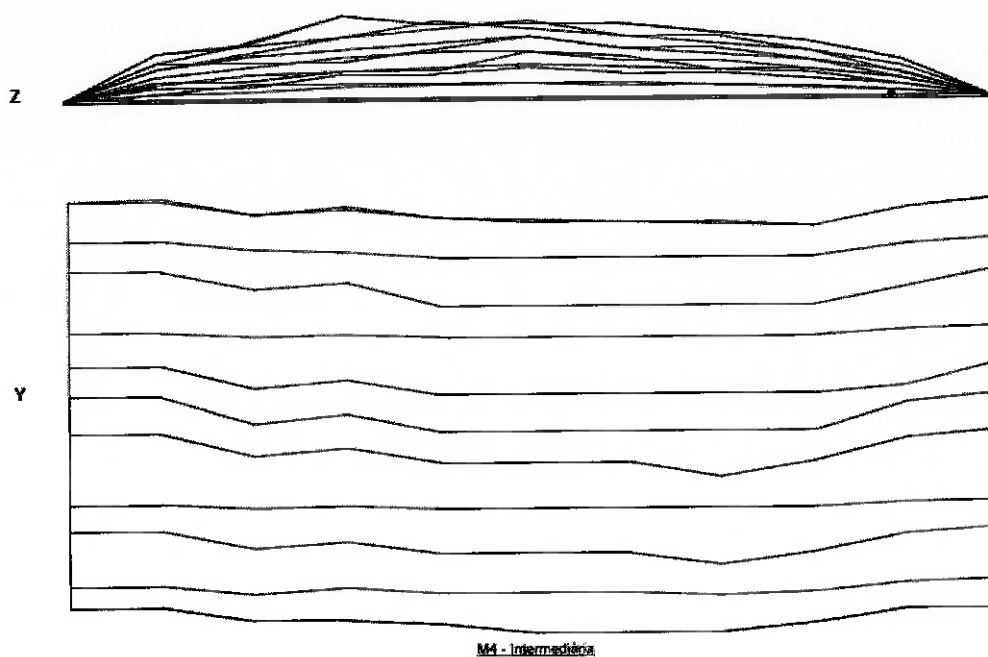


Figura 45 – Ilustração da condição intermediária da chapa com fator de escala para a mesa 2.

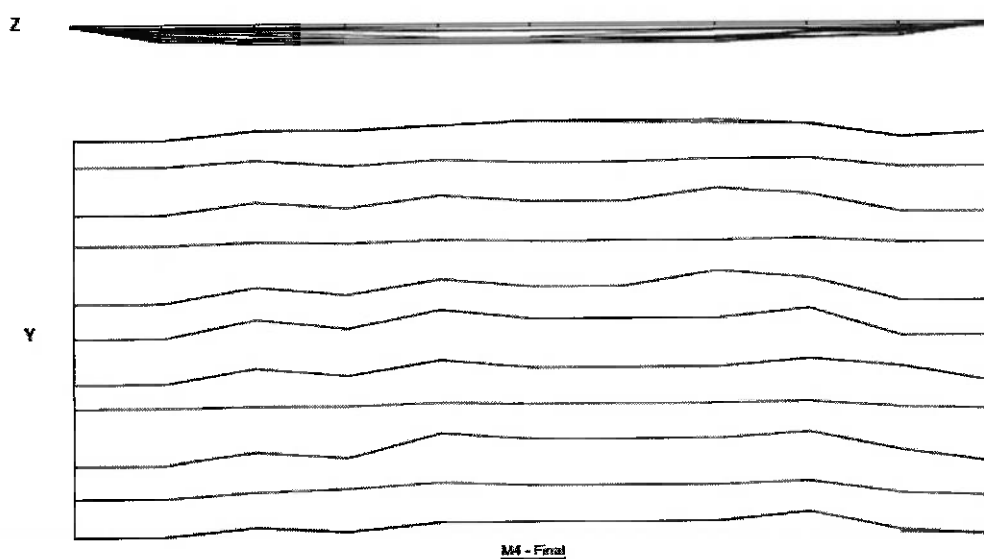


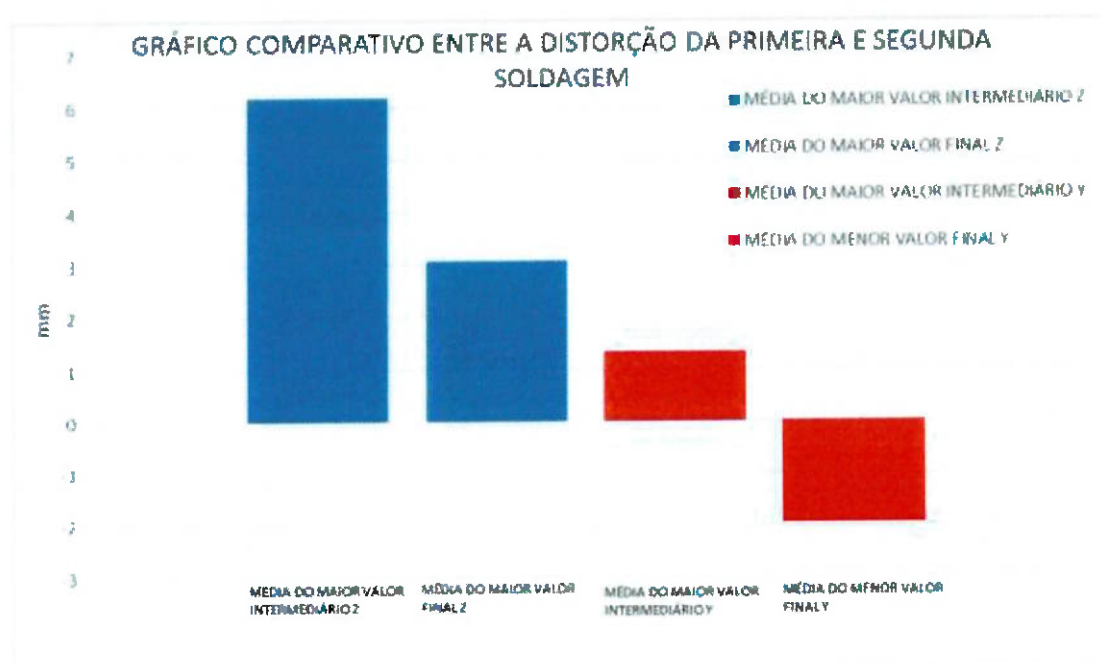
Figura 46 – Ilustração da condição final da chapa com fator de escala para a mesa 2.

A Tabela 26 mostra os valores médios de deformação que melhor exprimem o comportamento da deformação entre a primeira e a segunda etapa de soldagem.

Tabela 26 - Análise de dados mesa 2.

Análise de dados mesa 2		
Parâmetro	Z (mm)	Y (mm)
Média do maior valor intermediário	6,2	1,3
Média do menor valor intermediário		
Média do maior valor final	3,1	
Média do menor valor final		-1,9

A Figura 46 compara a deformação ocorrida devido à primeira soldagem que forma a viga "T" e a segunda soldagem que termina a fabricação do perfil "I" soldado para os eixos Y e Z utilizando como base os valores da Tabela 26.

**Figura 47** – Comparativo entre a distorção da primeira e segunda soldagem.

5.2.3 ALMA 2

A Tabela 27 resume os valores máximos, mínimos e médios das deformações ocorridas para cada uma das onze linhas formada pela malha para os eixos Y e Z. Observa-se que para o eixo Y as maiores deformações ocorreram no sentido negativo e positivo para o eixo Z.

Tabela 27 - Valores máximos, mínimos e médios das deformações ocorridas.

Etapa	Z (mm)			Y (mm)		
	Menor valor negativo	Maior valor positivo	Média para cada linha	Menor valor negativo	Maior valor positivo	Média para cada linha
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	2,5	1,8	-5	0	-2,1
Final	-1	0	-0,2	-2	0	-0,7
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	3	1,8	-4	0	-2
Final	-1	0	-0,2	-1	0	-0,6
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	3	2,1	-5	0	-2,1
Final	-1	0	-0,2	-2	0	-0,7
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	3	1,9	-5	0	-1,9
Final	-1	0	-0,2	-2	0	-0,7
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	3	1,8	-5	0	-1,9
Final	-1	0	-0,2	-2	0	-0,7
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	2,5	1,1	-5	0	-1,9
Final	-1	0	-0,2	-2	0	-0,7
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	3	1,8	-5	0	-1,7
Final	-1	0	-0,2	-2	0	-0,6
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	3	1,8	-5	0	-1,9
Final	-1	0	-0,2	-2	0	-0,7
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	3	1,8	-5	0	-1,9
Final	-1	0	-0,2	-2	0	-0,7
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	3	1,9	-5	0	-1,9
Final	-1	0	-0,2	-2	0	-0,7
Inicial	0	0	0	0	0	0
Intermediário	0	3	2,1	-5	0	-1,9
Final	-1	0	-0,2	-2	0	-0,7

A Tabela 28 mostra o maior valor de deformação ocorrido na Alma 2 para cada eixo e a média geral. Observa-se que nesse caso houve uma deformação maior no sentido negativo do eixo Y.

Tabela 28 - Análise de dados alma 2.

Análise de dados alma 2		
Parâmetro	Z (mm)	Y (mm)
Maior valor negativo	-1	-5
Maior valor positivo	3	0
Média dos valores médios de deformação	0,5	-0,9

A Figura 47 identifica a maior deformação ocorrida e a média geral das deformações para os eixos Y e Z utilizando como base os valores da Tabela 28. As Figuras 48, 49 e 50 ilustram as realidades das deformações ocorridas com fator de escala para que seja possível a visualização nas etapas inicial, intermediária e final para a alma 2.

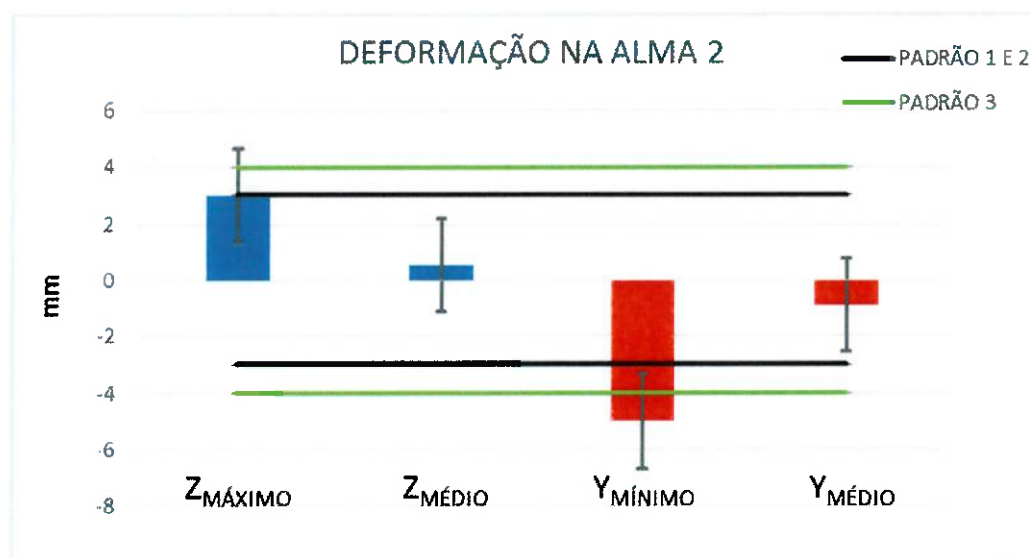


Figura 48 – Deformação alma 2 para os eixos Y e Z em comparação com os padrões definidos pela Norma NBR5884 e suas respectivas barras de desvio padrão.

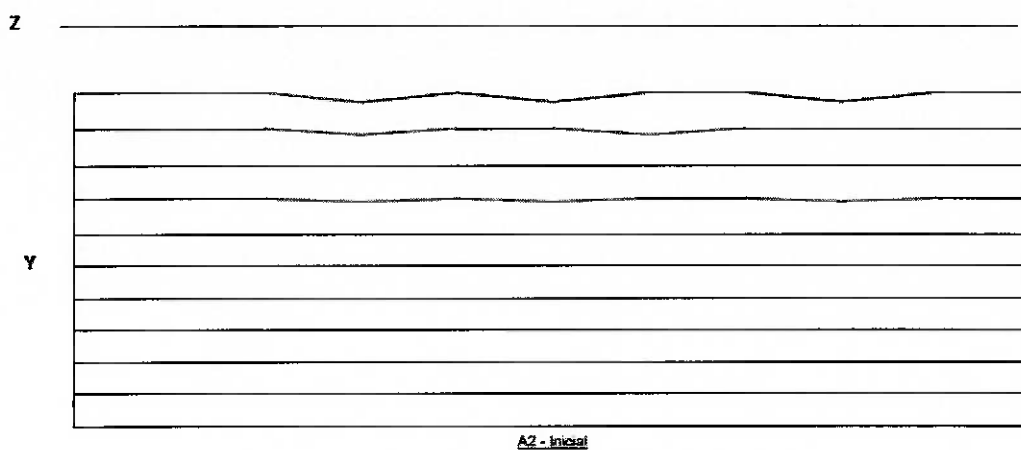


Figura 49 – Ilustração da condição inicial da chapa com fator de escala.

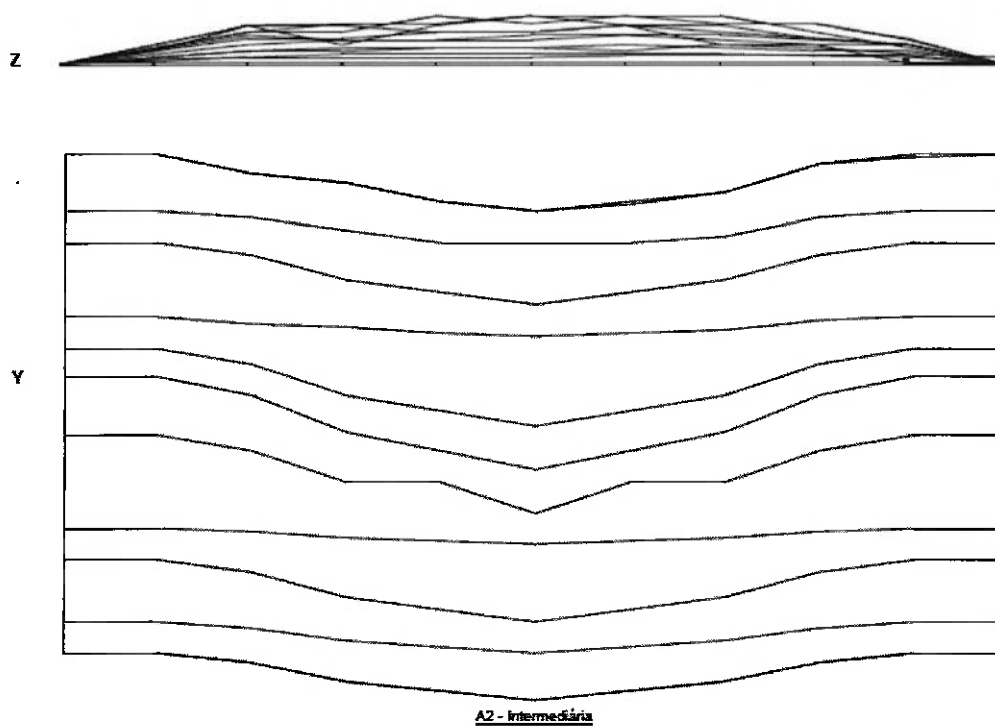


Figura 50 – Ilustração da condição intermediária da chapa com fator de escala após a primeira soldagem.

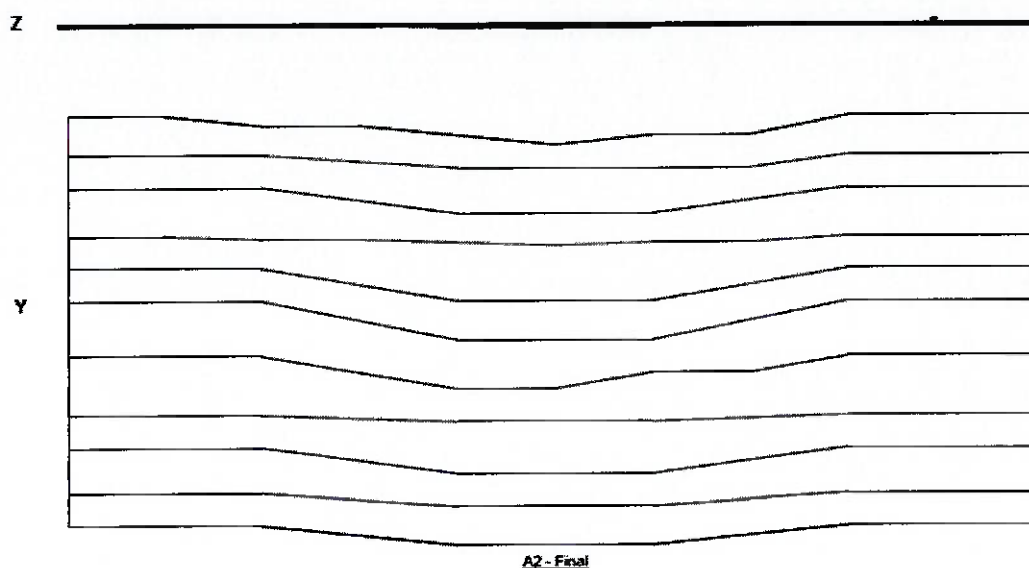


Figura 51 – Ilustração da condição intermediária da chapa com fator de escala após a primeira soldagem.

A Tabela 29 mostra o maior valor de deformação médio ocorrido na Alma 2 para cada eixo nas condições intermediária e final. Observa-se que nesse caso houve uma deformação maior no sentido negativo do eixo Y.

Tabela 29 - Análise de dados alma 2.

Análise de dados alma 2		
Parâmetro	Z (mm)	Y (mm)
Média do maior valor intermediário	2,9	
Média do menor valor intermediário		-4,9
Média do maior valor final		
Média do menor valor final	-1	-2,2

A Figura 51 compara a deformação ocorrida devido a primeira soldagem que forma a viga "T" e a segunda soldagem que termina a fabricação do perfil "I" soldado utilizando como base os valores da Tabela 29.

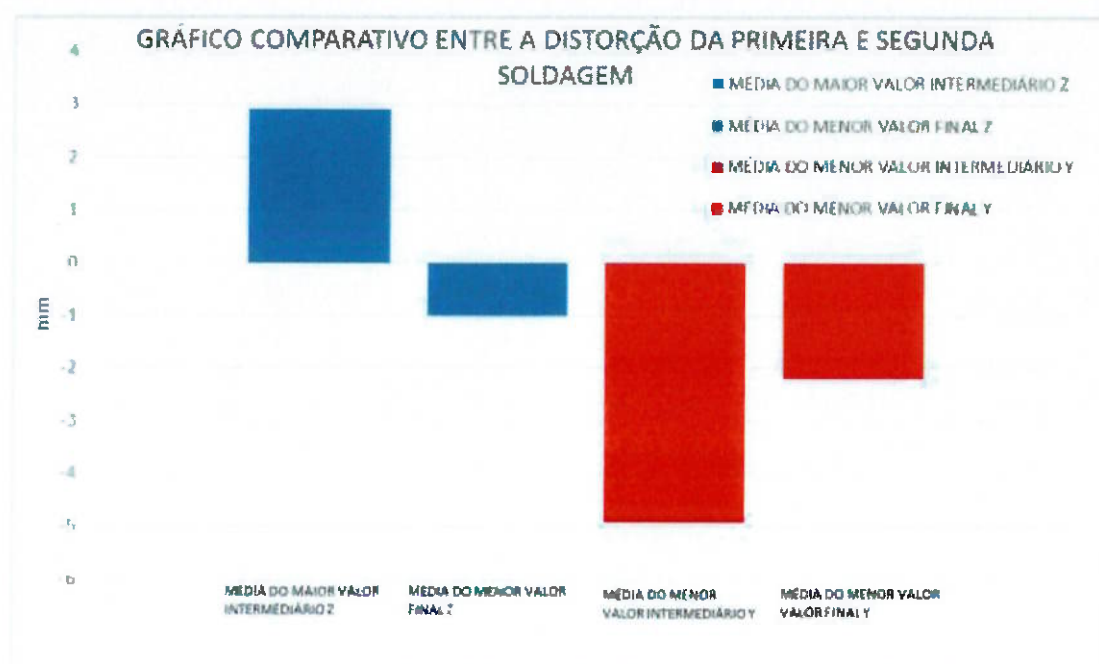


Figura 52 – Comparativo entre a distorção da primeira e segunda soldagem.

5.3 COMPARAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES FINAIS OCORRIDAS NA FABRICAÇÃO DOS PERFIS SOLDADOS

A Figura 53 mostra a distorção final que ocorreu nos eixos Y e Z após concluir a fabricação dos perfis soldados, Figura 54, utilizando as técnicas de soldagem com um arame e dois arames twin-arc. O gráfico foi desenvolvido a partir dos dados da Tabela 30.

Tabela 30 - Análise de dados geral.

		MAIOR VALOR Y FINAL (mm)	MAIOR VALOR Z FINAL (mm)
1 ARAME	M3	2	-1,5
	M4	-1,5	2
	A1	1	3
2 ARAMES	M1	1	-1
	M2	-4	5
	A2	-2	-1

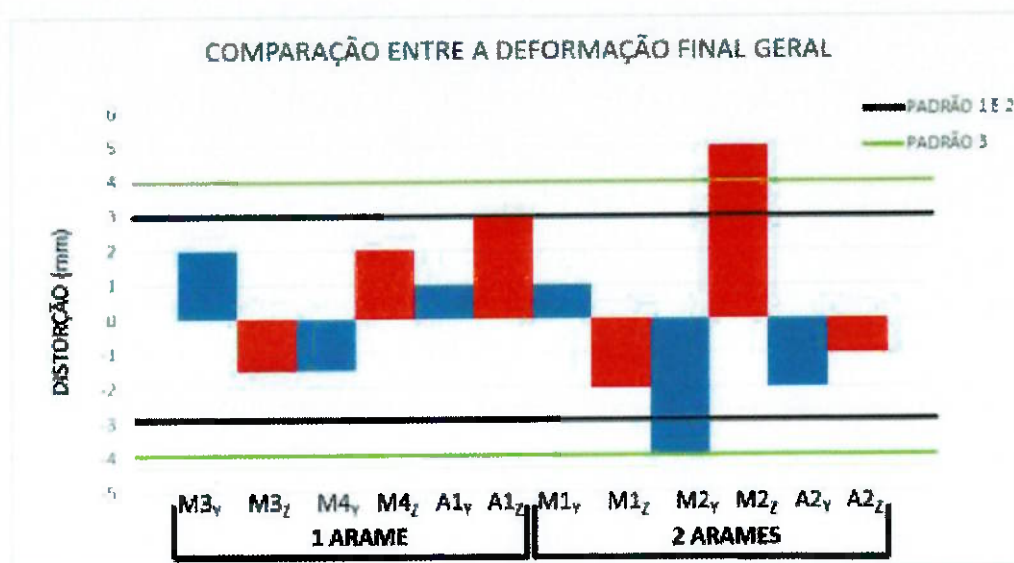


Figura 53 - Comparação entre a deformação final máxima nos eixos Y e Z para os perfis soldados com 1 e 2 arames.



Figura 54 – Perfis soldados.

5.4 COMPARAÇÃO DA DEFORMAÇÃO E DA ENERGIA DE SOLDAGEM APLICADA

A Figura 55 mostra o gráfico comparativo da energia de soldagem versus a distorção final que ocorreu nos eixos Y e Z após concluir a fabricação dos perfis soldados. O gráfico foi desenvolvido a partir dos dados da Tabela 31.

Foram relacionadas as energias de soldagem aplicada de acordo com as maiores deformações ocorridas na soldagem intermediária, confecção do "T", e da soldagem final, conclusão da fabricação do perfil I.

Da Figura 55 pode-se entender que a distorção ocorrida não é proporcional a energia de soldagem. A distorção ocorrida na soldagem com dois arames na Mesa 2 foi superior em 60% em relação a Mesa 4 soldada com arame simples. A distorção ocorrida na soldagem com dois arames na Alma 2 foi superior em 25% em relação a Alma 1 soldada com arame simples. As deformações ocorridas nas mesas são sempre maiores do que nas almas para as duas condições de soldagem trabalhadas.

Tabela 31 - Tabela comparativa da energia de soldagem com a deformação para 1 e 2 arames.

	Tensão (V)	Corrente (A)	Velocidade de Soldagem (cm/min)	Eficiência de Deposição (%)	Energia de Soldagem (kJ/mm)	Deformação Máxima (mm)
1 Arame T (M4Z _{intermediário})	28,3	500	64	0,95	1,26	2
1 Arame I (A1Z _{final})	28,5	450	64	0,95	1,14	1,5
2 Arames T (M2Z _{intermediário})	26,6	750	80	0,95	1,42	5
2 Arames I (A2Z _{final})	26,3	700	80	0,95	1,31	2

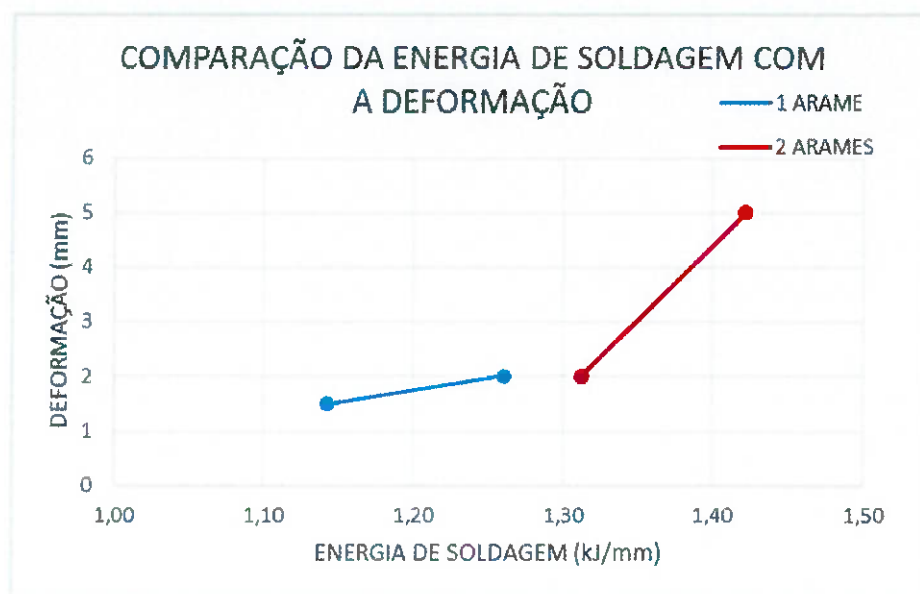


Figura 55 – Gráfico comparativo da energia de soldagem com a deformação intermediária e final máxima com 1 e 2 arames.

5.5 ANÁLISE DE CUSTO DE FABRICAÇÃO DE PERFIS

SOLDADOS

A análise de custo será realizada de acordo com as características do processo de soldagem por arco submerso. Admite-se as seguintes informações da Tabela 32 e 33 para esse estudo.

Tabela 32 – Características dos processos de soldagem.

Características	AS 1 arame	AS Twin-arc
Tamanho do cordão de solda	6mm	6mm
Velocidade de soldagem	64cm/min	80cm/min
Corrente (A)	500A	750A
Tensão (V)	26V	28V
Diâmetro do eletrodo	2,4mm	2 arames 2,4mm
Número de passes	1	1
Eficiência de deposição	0,95	0,95
Fator de trabalho	0,8	0,8

Tabela 33 – Valores de custos aproximados.

Item	Valor
Mão-de-obra	R\$25,00/h
Eletrodo	R\$5,00/kg
Arame	R\$4,00/kg
Fluxo	R\$3,00/kg
Energia elétrica	R\$0,19kwh

1. Custo da Mão-de-Obra:

CMO (R\$) = (custo unitário) (R\$/h) x tempo de soldagem (h):

a. Custo unitário da mão-de-obra da empresa (ver tabela):

R\$ 25,00/h.

b. O tempo de arco aberto será obtido a partir da velocidade de soldagem dada na tabela e o comprimento da solda:

- **1 arame:** tempo de arco aberto = $(300\text{cm})/(64\text{cm/min}) = 4,68\text{min} = 4,68/60\text{h} = 0,078\text{h}$.

- **Twin-arc:** tempo de arco aberto = $(300\text{cm})/(80\text{cm/min}) = 3,75\text{min} = 3,75/60\text{h} = 0,062\text{h}$.

c. Tempo efetivo de soldagem:

Deve levar em consideração o fator de ocupação ou fator de operação do soldador ou operação, será considerado o valor de 0,9 para a soldagem com arco submerso.

- Tempo de soldagem 1 arame: $(0,078\text{h}/0,9) = 0,087\text{h}$.

- Tempo de soldagem Twin-arc: $(0,062\text{h}/0,9) = 0,069\text{h}$.

- **AS 1 arame:** CMO (R\$) = $R\$25,00/\text{h} \times 0,087\text{h} = R\$2,17$.

- **AS Twin-arc:** CMO (R\$) = $R\$25,00/\text{h} \times 0,069\text{h} = R\$1,73$.

2. Custo de Consumíveis:

$CC(R\$) = CMA(R\$) + CF(R\$) + CG(R\$)$

a. Massa de Metal Depositado (MMD):

$$\text{MMD (kg)} = A(\text{cm}^2) \times L(\text{cm}^2) \times \rho(\text{kg/cm}^3) = (0,6 \times 0,6) / 2 \\ \times 300 \times 0,00785 = 0,424\text{kg}.$$

b. $\text{CMD(R\$)} = \text{massa do metal depositado (kg)} \times \text{custo do eletrodo (R\$/kg)}.$

- AS 1 arame: $\text{CMD(R\$)} = 0,424\text{kg} \times \text{R\$4,00/kg} =$
R\$1,70.

- AS Twin-arc: $\text{CMD(R\$)} = (0,424\text{kg} \times \text{R\$4,00/kg}) \times 2 =$
R\$3,40.

c. $\text{CMA(R\$)} = \text{CMD/ED}$

- AS 1 arame: $\text{CMA(R\$)} = 1,70 / 0,95 = \text{R\$1,79}.$

- AS Twin-arc: $\text{CMA(R\$)} = 3,40 / 0,95 = \text{R\$3,58}.$

Custo total dos consumíveis:

$$\text{CC(R\$)} = \text{CMA(R\$)} + \text{CF(R\$)} + \text{CG(R\$)}$$

- AS 1 arame: $\text{CC(R\$)} = 1,79 + (0,424\text{kg} \times 1 \times \text{R\$3,00/kg}) + 0 =$
R\$3,06.

- AS Twin-arc: $\text{CC(R\$)} = 3,58 + (0,424\text{kg} \times 1 \times \text{R\$3,00/kg}) + 0 =$
R\$4,85.

Foi atribuído uma razão de consumo de 1 kg de fluxo para 1 kg de arame.

3. Custo de Energia Elétrica:

$$\text{CE(R\$)} = [\text{PE(R\$/kWh)} \times \text{PES (kW)} \times \text{T(h)}] / (\text{E} \times 1000)$$

PE = Preço da energia elétrica;

PES = Potência elétrica de saída;

T = Tempo de arco aberto;

E = Eficiência do processo de soldagem.

- AS 1 arame: $CE(R\$) = [0,19 \times (500A \times 26V) \times 0,078] / (0,95 \times 1000) = R\$0,21.$

- AS Twin-arc: $CE(R\$) = [0,19 \times (750A \times 28V) \times 0,062] / (0,95 \times 1000) = R\$0,26.$

4. **Custo Total:**

$$CT = CMO + CC + CE$$

CMO = Custo de mão-de-obra;

CC = Custo dos consumíveis;

CE = Custo de energia elétrica;

- AS 1 arame: $CMO + CC + CE = 2,17 + 3,06 + 0,21 = R\$5,44.$

- AS Twin-arc: $CMO + CC + CE = 1,73 + 4,85 + 0,26 = R\$6,84.$

A Tabela 34 traz o resultado dos valores calculados para o custo de fabricação de perfis soldados com um arame e dois arames por meio da técnica Twin-arc.

Tabela 34 – Custo de fabricação de perfis soldados com um e dois arames.

Custos	1 arame	2 arames
Mão-de-obra	R\$2,17	R\$1,73
Consumíveis	R\$1,70	R\$3,40
Energia elétrica	R\$0,21	R\$0,26
TOTAL	R\$5,44	R\$6,84

A Figura 56 apresenta o gráfico comparativo do custo de fabricação de perfis soldados de acordo com os dados da Tabela 34. O Custo da mão-de-obra é inferior na soldagem com 2 arames do que com 1 arame devido ao tempo de arco aberto ser inferior, consequentemente o tempo efetivo de soldagem

também é inferior. O custo de consumíveis é maior na condição de 2 arames do que com 1 arame devido a utilização dobrada de recursos para realizar a soldagem Twin-arc.

O Custo total da soldagem com 2 arames excedeu em 20% o custo da fabricação com 1 arame.

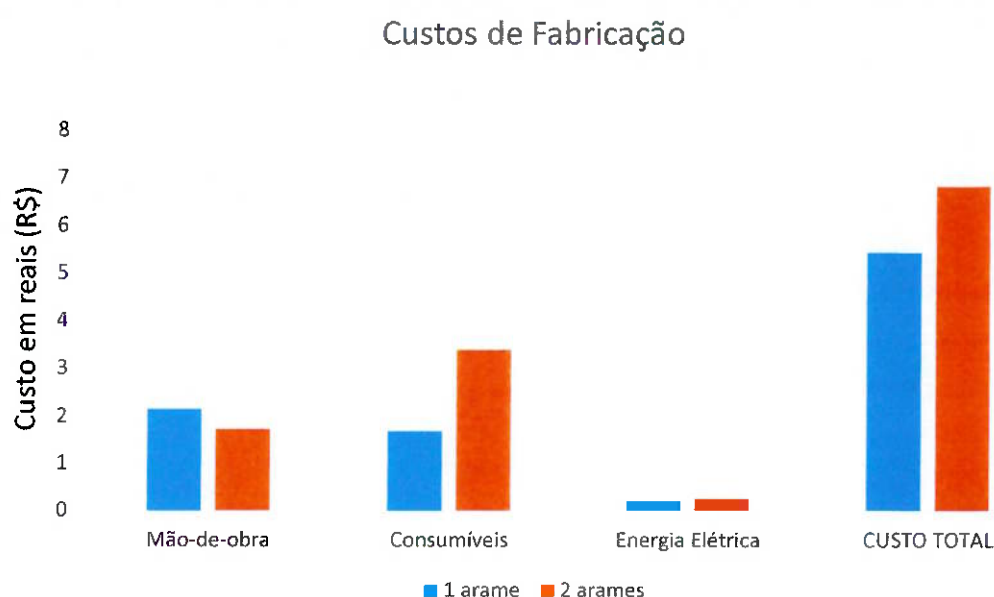


Figura 56 - Custo de fabricação de perfis soldados.

5.6 PRINCIPAIS ANÁLISES DOS RESULTADOS

Pode-se observar que as deformações ocorridas na condição intermediária das chapas devido a primeira etapa de soldagem da junta em ângulo formando um "T" tendem a retornarem para a posição inicial da chapa após a última etapa de soldagem.

Verificou-se que as máximas deformações ocorreram na primeira etapa de soldagem para ambas as situações com valores máximos de 8,0 mm na soldagem com dois arames e 5,5 mm com um arame.

A soldagem com arame simples permite maior qualidade dos perfis soldados evitando etapas posteriores de desempenho.

Verificou-se que a mão-de-obra para fabricação de perfis soldados com 1 arame teve um custo 20% superior a de 2 arames, isso ocorreu devido ao tempo de fabricação ser menor quando se utiliza a técnica de soldagem Twin-arc.

O custo de consumíveis utilizando a técnica twin-arc é 50% superior ao arame simples.

6. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- 1- A deformação final para soldagem com arame simples está dentro do padrão de tolerância 1 e 2 da norma NBR5884.
- 2- Para soldagem com dois arames utilizando a técnica twin-arc os resultados mostram que as deformações foram superiores ao padrão 3 com tolerância até 4,0 mm.
- 3- Para ambas as condições com um ou dois arames, verifica-se que a distorção da peça aumenta de acordo com o aumento da energia de soldagem.
- 4- A fabricação de perfis soldados utilizando dois arames com a técnica Twin Arc teve um custo total 20% superior a fabricação quando comparado com a soldagem com arame simples.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- 1- Comparação da distorção causada pela soldagem na fabricação de perfis soldados utilizando arames 2,4mm e 3,2mm de diâmetro.
- 2- Estudo da produtividade na soldagem de fabricação de perfis soldados utilizando arames 2,4mm, 3,2mm e a técnica de soldagem duplo arame twin-arc.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- SOLGAGEM / Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SÃO PAULO).
São Paulo: SENAI-SP editora, 2013. 720 p. il. (Informações tecnológicas)
- 2- PARANHOS, R.; SOUZA, A. C.; Soldagem Ao Arco Submerso. Coleção
Soldagem 2000. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial,
2000.
- 3- KOU, S.; Welding Metallurgy; 2ª Ed. New Jersey: John Wiley & Sons,
Inc., p. 22-24, 2003.
- 4- WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H.; Soldagem: Processos e
Metalurgia; 1ª Ed. São Paulo: Edigard Blücher LTDA, p. 67 -75 e 133 -147,
1992.
- 5- ALMQVIST, G. et al.; Submerged-Arc Welding; Cambridge: The Welding
Institute, 1978.
- 6- SUB ARC WELDING, ESAB Welding & Cutting Products, 1999.
- 7- ABNT NBR 5884, Perfil I Estrutural de Aço Soldado por Arco Elétrico -
Requisitos Gerais. 2005.
- 8- MODONESI, P. J.; MARQUES, P. V.; SANTOS, D. B. Notas de aula dos Cursos
de Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Pós-Graduação em Engenharia
Metalúrgica - Introdução à Metalurgia da Soldagem. Universidade Federal de
Minas Gerais. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Belo
Horizonte. 2012.
- 9- THE PROCEDURE HANDBOOK AF ARC WELDING. Lincoln Eletric; Ed.
Fourteenth; section 3.
- 10- MASUBUCHI, K. Analysis of Welded Structures, Pergamon Press. 1980.

- 11- WELDING HANDBOOK. Welding Science & Technology Vol. 1. NINTH EDITION. AWS. 2001.
- 12 – GUNNERT, R. Method for Measuring tri-axial residual stresses, Doc. IIW X-184-57-OE. Commission X of the International Institute of Welding. 1958.
- 13- ANDREWS, J.B. *et al.* Analysis of Thermal Stress and Metal Movement During Welding, NASA Contractor Report NASA CR-61351. 1970.
- 14- TEIXEIRA, A. L. Comparação da distorção entre os processos de soldagem arco submerso com 1 arame e com 2 arames (tandem) no aço ASTM AH36. São Paulo. 2012.
- 15- SILVEIRA, J. P. BARROS, S. M. Tensões Residuais e Deformações em Soldagem – PETROBRAS/SEPES/DIVEN/SEM-RIO.
- 16- OKUMURA, T; TANIGUCHI, C. Engenharia de soldagem e aplicações. 1. Ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 1982.
- 17 – BELLEI, I. H. Edifício Industriais Em Aço: Projeto e Cálculo. Pini. São Paulo. 2010.
- 18- CZERNORUCKI, F. V. Comparação entre os processos de soldagem tig e arame tubular com dupla fusão no passe de raiz. São Paulo. 2014.

ANEXO A – CERTIFICADOS DE MATÉRIA PRIMA

[illegible]

ANEXO B – CERTIFICADOS DE CONSUMÍVEIS



CERTIFICADO DE QUALIDADE ARAME SÓLIDO PARA SOLDAGEM DE ARCO SUBMERSO

(Conforme ASME II Parte C SFA-5.01 ED. 2010 Add. 2011 Schedule F)

Produto: Premier Weld L12
Data de Emissão: 13/08/2014
Lote nº: 40703081

Classificação: EL12
Dimensão (mm): 2,4mm
AWS: A5.17-2010

ASME: AWS A5.17 (M) / ASME II Part C SFA A5.17 (M) Ed. 2010 Add. 2011: F43A0- EL12

1) Análise Química

	C %	Mn %	Si %	S %	P %	Cr %	Ni %	Cu %
Composição do Arame	0,06	0,41	0,01	0,007	0,010	0,018	0,011	0,12

2) Ensaios Mecânicos

Condições conforme AWS A5.17		
Condição		CS
Limite de Resistência	(MPa)	520
Limite de Escoamento	(MPa)	420
Alongamento	(%)	30
Ensaio de Impacto a 0°C	(J)	88,84,90 – Média 87,3

Atende aos padrões radiográficos.

Este produto é fabricado por Shanghai Lincoln Electric CO, LTD de acordo com o sistema de Qualidade ISO 9001 - 2008 e AWS A5.01.

Emitente
Danilo Fernandes de Souza
Gestão da Qualidade

LINCOLN ELECTRIC DO BRASIL

Indústria e Comércio Ltda.
Av. Papa João Paulo I, 1818
CEP 07170-350 – Cumbica – Guarulhos - SP – Brasil
Fone: 55 11 2432 5600 - Fax: 55 11 2432 5335
E-mail: qualidade@lincolnelectric.com.br



CERTIFICADO DE QUALIDADE DE FLUXO PARA SOLDAGEM

Produto: Fluxo Lincoln 70E

Lote: 13977170

Data de Emissão: 12/05/14

1 - Características

Fluxo Aglomerado - Tipo Neutro.

Tipo de Eletrodo: EM12K

Tipo de Eletrodo: EL12

2 - Classificação

AWS A5.17 / ASME II Part C SFA A5.17 Edição 2010 ADD. 2011: F7AZ-EL12/ F7AZ-EM12K

AWS A5.17M-97 (R2007) / ASME II Part C SFA A5.17 Edição 2010 ADD. 2011: F48AZ-EL12/ F48AZ-EM12K

3 - Análise Química(a)

	C %	Mn %	Si %	S %	P %	Cu %
EL12	0,08	0,42	0,02	0,009	0,012	0,08
Depósito	0,04	1,20	0,84	0,008	0,023	0,06
EM12K	0,09	1,12	0,24	0,010	0,008	0,13
Depósito	0,05	1,54	1,16	0,012	0,027	0,10

4 - Ensaios Mecânicos(b)

		EM12K	EL12
Condição		AS	AS
Limite de Resistência	(MPa)	590	550
Limite de Escoamento	(MPa)	500	471
Alongamento	(%)	29	26
Impacto	(J)	NR	NR

(a) Valores reais obtidos

(b) Valores estatisticamente obtidos.

AS - como soldado

NR - Não Requerido

5 - Radiografia - Atende padrão radiográfico Grau 1 (SFA 5.17).

Este Produto é fabricado de acordo com o Sistema de Qualidade ISO 9001-2008 e AWS A5.01 Class F2 Schedule H.

Emissor:

Ivague S. Nascimento,
Inspeção da Qualidade

LINCOLN ELECTRIC DO BRASIL Indústria e Comércio Ltda.

Av. Papa João Paulo I, 1818

CEP 07170-360 - Curitiba - Paraná - Brasil

Fone: 55 11 2432 9900 - Fax: 55 11 2432 5335

E-mail: qualidade@lincolnelectric.com.br



ANEXO D – TABELAS DE MALHA

A1	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11								
1 Márcio Initial Interm. Final	a11	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z						
		0	117	0	895	117	0	1495	117	0	2396	117	0	2992	117	0			
		0	117	0	895	118	1	1495	121	2	2396	118	2,5	2396	117	1	2992	117	0
		0	117	0	895	117	0	1495	118	1	2396	117	1	2396	117	2	2992	117	0
2 Initial Interm. Final	a21	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z						
		0	92	0	895	92	0	1495	92	0	2396	92	0	2396	92	0	2992	92	0
		0	92	0	895	94	1	1495	96	2	2396	93	3	2396	92	2	2992	92	0
		0	92	0	895	92	1	1495	93	1	2396	92	2	2396	92	2	2992	92	0
3 Initial Interm. Final	a31	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z						
		0	67	0	895	67	0	1495	67	0	2396	67	0	2396	67	0	2992	67	0
		0	67	0	895	69	1	1495	71	2	2396	68	2	2396	67	2	2992	67	0
		0	67	0	895	67	1	1495	68	2	2396	67	2	2396	67	2	2992	67	0
4 Initial Interm. Final	a41	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z						
		0	42	0	895	42	0	1495	42	0	2396	42	0	2396	42	0	2992	42	0
		0	42	0	895	44	1	1495	46	2	2396	43	3	2396	42	2	2992	42	0
		0	42	0	895	42	1	1495	43	2	2396	42	2	2396	42	2	2992	42	0
5 Initial Interm. Final	a51	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z						
		0	18	0	895	18	0	1495	18	0	2396	18	0	2396	18	0	2992	18	0
		0	18	0	895	20	1	1495	22	2	2396	19	3	2396	18	2	2992	18	0
		0	18	0	895	18	1	1495	19	1	2396	18	2	2396	18	2	2992	18	0
6 Initial Interm. Final	a61	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z						
		0	0	0	895	0	0	1495	0	0	2396	0	0	2396	0	0	2992	0	0
		0	0	0	895	2	1	1495	4	2	2396	1	2,5	2396	0	2	2992	0	0
		0	0	0	895	0	1	1495	1	2	2396	0	2	2396	0	2	2992	0	0
7 Initial Interm. Final	a71	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z						
		-18	0	895	-18	0	1495	-18	0	2396	-18	0	2396	-18	0	2992	-18	0	
		-18	0	895	-16	1	1495	-14	2	2396	-17	3	2396	-17	3	2992	-18	0	
		-18	0	895	-18	2	1495	-17	2	2396	-18	3	2396	-18	3	2992	-18	0	
8 Initial Interm. Final	a81	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z						
		-42	0	895	-42	0	1495	-42	0	2396	-42	0	2396	-42	0	2992	-42	0	
		-42	0	895	-40	1	1495	-38	2	2396	-41	3	2396	-42	2	2992	-42	0	
		-42	0	895	-42	1	1495	-41	1	2396	-42	3	2396	-42	2	2992	-42	0	
9 Initial Interm. Final	a91	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z						
		-67	0	895	-67	0	1495	-67	0	2396	-67	0	2396	-67	0	2992	-67	0	
		-67	0	895	-65	1	1495	-63	2	2396	-66	3	2396	-66	3	2992	-67	0	
		-67	0	895	-67	1	1495	-66	2	2396	-67	3	2396	-67	2	2992	-67	0	
10 Initial Interm. Final	a101	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z						
		-92	0	895	-92	0	1495	-92	0	2396	-92	0	2396	-92	0	2992	-92	0	
		-92	0	895	-90	1	1495	-88	2	2396	-91	3	2396	-91	3	2992	-92	0	
		-92	0	895	-92	0,5	1495	-91	1	2396	-92	3	2396	-92	2	2992	-92	0	
11 Initial Interm. Final	a111	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z						
		-117	0	895	-117	0	1495	-117	0	2396	-117	0	2396	-117	0	2992	-117	0	
		-117	0	895	-115	1	1495	-113	2	2396	-116	3	2396	-116	3	2992	-117	0	
		-117	0	895	-117	1	1495	-116	2	2396	-117	3	2396	-117	2,5	2992	-117	0	

M3	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11
1	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	a19	a20	a21
Marcação	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y
Inicial	0	117	0	896	116	0	1796	116,5	0	2695,5	116,5
Interm.											
Final	0	117	0	896	117,5	0	1796	118	-0,5	2695,5	117,5
2	a21	a22	a23	a24	a25	a26	a27	a28	a29	a30	a31
Marcação	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y
Inicial	0	92	0	896	91	0	1796	92	0	2695,5	92
Interm.											
Final	0	92	0	896	92,5	0	1796	93,5	-0,5	2695,5	93,5
3	a31	a32	a33	a34	a35	a36	a37	a38	a39	a40	a41
Marcação	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y
Inicial	0	67	0	896	67	0	1796	66,5	0	2695,5	67
Interm.											
Final	0	67	0	896	68,5	0	1796	68	-0,5	2695,5	68,5
4	a41	a42	a43	a44	a45	a46	a47	a48	a49	a50	a51
Marcação	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y
Inicial	0	42,5	0	896	42	0	1796	42	0	2695,5	42
Interm.											
Final	0	42,5	0	896	43,5	-0,5	1796	43,5	-1	2695,5	43,5
5	a51	a52	a53	a54	a55	a56	a57	a58	a59	a60	a61
Marcação	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y
Inicial	0	18	0	896	18	0	1796	18	0	2695,5	18
Interm.											
Final	0	18	0	896	19	-1	1796	19,5	-1	2695,5	19,5
6	a61	a62	a63	a64	a65	a66	a67	a68	a69	a70	a71
Marcação	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y
Inicial	0	0	0	895	0	0	1796	0	0	2695,5	0
Interm.											
Final	0	0	0	895	-1	-0,5	1796	-1,5	-1	2695,5	-1,5
7	a71	a72	a73	a74	a75	a76	a77	a78	a79	a80	a81
Marcação	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y
Inicial	0	-18	0	895	-18	0	1796	-18	0	2695,5	-18
Interm.											
Final	0	-18	0	895	-16,5	-1	1796	-16,5	-1	2695,5	-16,5
8	a81	a82	a83	a84	a85	a86	a87	a88	a89	a90	a91
Marcação	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y
Inicial	0	-42	0	895	-42	0	1796	-42	0	2695,5	-42
Interm.											
Final	0	-42	0	895	-40	-1	1796	-40	-1	2695,5	-40
9	a91	a92	a93	a94	a95	a96	a97	a98	a99	a100	a101
Marcação	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y
Inicial	0	-67	0	895	-67	0	1796	-67	0	2695,5	-67
Interm.											
Final	0	-67	0	895	-66	0	1796	-65,5	-1	2695,5	-65,5
10	a101	a102	a103	a104	a105	a106	a107	a108	a109	a110	a111
Marcação	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y
Inicial	0	-92,5	0	895	-92	0	1796	-92,5	0	2695,5	-92,5
Interm.											
Final	0	-92,5	0	895	-90,5	-1	1796	-91	-1	2695,5	-91
11	a111	a112	a113	a114	a115	a116	a117	a118	a119	a120	a121
Marcação	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y
Inicial	0	-117	0	895	-117	0	1796	-117,5	0	2695,5	-117,5
Interm.											
Final	0	-117	0	895	-116,5	0	1796	-116	-1	2695,5	-116,5

M4	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	a19	a20	a21	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
2	a21	a22	a23	a24	a25	a26	a27	a28	a29	a30	a31	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
3	a31	a32	a33	a34	a35	a36	a37	a38	a39	a40	a41	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
4	a41	a42	a43	a44	a45	a46	a47	a48	a49	a50	a51	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
5	a51	a52	a53	a54	a55	a56	a57	a58	a59	a60	a61	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
6	a61	a62	a63	a64	a65	a66	a67	a68	a69	a70	a71	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
7	a71	a72	a73	a74	a75	a76	a77	a78	a79	a80	a81	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
8	a81	a82	a83	a84	a85	a86	a87	a88	a89	a90	a91	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
9	a91	a92	a93	a94	a95	a96	a97	a98	a99	a100	a101	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
10	a101	a102	a103	a104	a105	a106	a107	a108	a109	a110	a111	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
11	a111	a112	a113	a114	a115	a116	a117	a118	a119	a120	a121	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
12	a121	a122	a123	a124	a125	a126	a127	a128	a129	a130	a131	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
13	a131	a132	a133	a134	a135	a136	a137	a138	a139	a140	a141	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
14	a141	a142	a143	a144	a145	a146	a147	a148	a149	a150	a151	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
15	a151	a152	a153	a154	a155	a156	a157	a158	a159	a160	a161	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
16	a161	a162	a163	a164	a165	a166	a167	a168	a169	a170	a171	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
17	a171	a172	a173	a174	a175	a176	a177	a178	a179	a180	a181	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
18	a181	a182	a183	a184	a185	a186	a187	a188	a189	a190	a191	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
19	a191	a192	a193	a194	a195	a196	a197	a198	a199	a200	a201	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
20	a201	a202	a203	a204	a205	a206	a207	a208	a209	a210	a211	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
21	a211	a212	a213	a214	a215	a216	a217	a218	a219	a220	a221	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
22	a221	a222	a223	a224	a225	a226	a227	a228	a229	a230	a231	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
23	a231	a232	a233	a234	a235	a236	a237	a238	a239	a240	a241	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
24	a241	a242	a243	a244	a245	a246	a247	a248	a249	a250	a251	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
25	a251	a252	a253	a254	a255	a256	a257	a258	a259	a260	a261	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
26	a261	a262	a263	a264	a265	a266	a267	a268	a269	a270	a271	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
27	a271	a272	a273	a274	a275	a276	a277	a278	a279	a280	a281	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
28	a281	a282	a283	a284	a285	a286	a287	a288	a289	a290	a291	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
29	a291	a292	a293	a294	a295	a296	a297	a298	a299	a300	a301	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
30	a301	a302	a303	a304	a305	a306	a307	a308	a309	a310	a311	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
31	a311	a312	a313	a314	a315	a316	a317	a318	a319	a320	a321	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
32	a321	a322	a323	a324	a325	a326	a327	a328	a329	a330	a331	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
33	a331	a332	a333	a334	a335	a336	a337	a338	a339	a340	a341	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
34	a341	a342	a343	a344	a345	a346	a347	a348	a349	a350	a351	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
35	a351	a352	a353	a354	a355	a356	a357	a358	a359	a360	a361	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
36	a361	a362	a363	a364	a365	a366	a367	a368	a369	a370	a371	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
37	a371	a372	a373	a374	a375	a376	a377	a378	a379	a380	a381	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
38	a381	a382	a383	a384	a385	a386	a387	a388	a389	a390	a391	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
39	a391	a392	a393	a394	a395	a396	a397	a398	a399	a400	a401	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
40	a401	a402	a403	a404	a405	a406	a407	a408	a409	a410	a411	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
41	a411	a412	a413	a414	a415	a416	a417	a418	a419	a420	a421	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
42	a421	a422	a423	a424	a425	a426	a427	a428	a429	a430	a431	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
43	a431	a432	a433	a434	a435	a436	a437	a438	a439	a440	a441	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
44	a441	a442	a443	a444	a445	a446	a447	a448	a449	a450	a451	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
45	a451	a452	a453	a454	a455	a456	a457	a458	a459	a460	a461	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
46	a461	a462	a463	a464	a465	a466	a467	a468	a469	a470	a471	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
47	a471	a472	a473	a474	a475	a476	a477	a478	a479	a480	a481	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
48	a481	a482	a483	a484	a485	a486	a487	a488	a489	a490	a491	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
49	a491	a492	a493	a494	a495	a496	a497	a498	a499	a500	a501	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
50	a501	a502	a503	a504	a505	a506	a507	a508	a509	a510	a511	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
51	a511	a512	a513	a514	a515	a516	a517	a518	a519	a520	a521	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
52	a521	a522	a523	a524	a525	a526	a527	a528	a529	a530	a531	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
53	a531	a532	a533	a534	a535	a536	a537	a538	a539	a540	a541	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
54	a541	a542	a543	a544	a545	a546	a547	a548	a549	a550	a551	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
55	a551	a552	a553	a554	a555	a556	a557	a558	a559	a560	a561	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
56	a561	a562	a563	a564	a565	a566	a567	a568	a569	a570	a571	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
57	a571	a572	a573	a574	a575	a576	a577	a578	a579	a580	a581	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
58	a581	a582	a583	a584	a585	a586	a587	a588	a589	a590	a591	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
59	a591	a592	a593	a594	a595	a596	a597	a598	a599	a600	a601	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
60	a601	a602	a603	a604	a605	a606	a607	a608	a609	a610	a611	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
61	a611	a612	a613	a614	a615	a616	a617	a618	a619	a620	a621	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
62	a621	a622	a623	a624	a625	a626	a627	a628	a629	a630	a631	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
63	a631	a632	a633	a634	a635	a636	a637	a638	a639	a640	a641	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
64	a641	a642	a643	a644	a645	a646	a647	a648	a649	a650	a651	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
65	a651	a652	a653	a654	a655	a656	a657	a658	a659	a660	a661	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
66	a661	a662	a663	a664	a665	a666	a667	a668	a669	a670	a671	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
67	a671	a672	a673	a674	a675	a676	a677	a678	a679	a680	a681	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
68	a681	a682	a683	a684	a685	a686	a687	a688	a689	a690	a691	
Matrão	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
69	a691	a692	a693	a694	a695	a696	a697	a698	a699	a700	a701	

A2-2 Arames			L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11
			a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	a19	a110	a111
1	Maneção	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
	Inicial	0	117	0	596	117	0	1496	116	0	2397	116	0
	Interm.	0	117	0	596	117	2,5	1496	111	2	2397	117	1,5
	Final	0	117	0	596	117	0	1496	114	-1	2397	117	0
2		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
	Inicial	0	92	0	596	92	0	1496	92	0	2397	92	0
	Interm.	0	92	0	596	91	2	1496	87	2,5	2397	91	2
	Final	0	92	0	596	92	0	1496	90	-1	2397	92	0
3		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
	Inicial	0	67	0	596	67	0	1496	66	0	2397	66	0
	Interm.	0	67	0	596	66	2,5	1496	61	3	2397	67	1,5
	Final	0	67	0	596	67	0	1496	64	-1	2397	67	0
4		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
	Inicial	0	42	0	596	42	0	1496	42	0	2397	42	0
	Interm.	0	42	0	596	41	2	1496	37	2,5	2397	41	3
	Final	0	42	0	596	42	0	1496	40	-1	2397	42	0
5		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
	Inicial	0	18	0	596	18	0	1496	18	0	2397	18	0
	Interm.	0	18	0	596	17	2,5	1496	13	2,5	2397	17	2
	Final	0	18	0	596	18	0	1496	16	-1	2397	18	0
6		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
	Inicial	0	0	0	596	0	0	1496	0	0	2396	0	0
	Interm.	0	0	0	596	-1	1	1496	-5	2,5	2396	-1	2
	Final	0	0	0	596	0	0	1496	-2	-1	2396	0	0
7		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
	Inicial	0	-18	0	596	-18	0	1496	-18	0	2396	-18	0
	Interm.	0	-18	0	596	-19	2	1496	-23	3	2396	-19	2
	Final	0	-18	0	596	-18	0	1496	-20	-1	2396	-18	0
8		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
	Inicial	0	-42	0	596	-42	0	1496	-42	0	2396	-42	0
	Interm.	0	-42	0	596	-43	2	1496	-47	2,5	2396	-43	2
	Final	0	-42	0	596	-42	0	1496	-44	-1	2396	-42	0
9		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
	Inicial	0	-67	0	596	-67	0	1496	-67	0	2396	-67	0
	Interm.	0	-67	0	596	-68	2	1496	-72	2,5	2396	-68	2
	Final	0	-67	0	596	-67	0	1496	-69	-1	2396	-67	0
10		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
	Inicial	0	-92	0	596	-92	0	1496	-92	0	2396	-92	0
	Interm.	0	-92	1,5	596	-93	2,5	1496	-96	2,5	2396	-93	2
	Final	0	-92	0	596	-92	0	1496	-94	-1	2396	-92	0
11		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
	Inicial	0	-117	0	596	-117	0	1496	-117	0	2396	-117	0
	Interm.	0	-117	0	596	-118	2,5	1496	-122	3	2396	-118	2
	Final	0	-117	0	596	-117	0	1496	-119	-1	2396	-117	0

M1	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11
1	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	a19	a20	a21
Marção	X	Y	Z	0	1195	117	0	2096	117	0	2991
Inicial	0	117	0	895	117	0	1796	117	0	2696	117
Interm.											
Final	0	117	0	895	117	0	1796	117	0	2696	117
2	a21	a22	a23	a24	a25	a26	a27	a28	a29	a30	a31
Initial	0	92	0	895	92	0	1796	92	0	2696	92
Interm.											
Final	0	92	0	895	92	0	1796	92	0	2696	92
3	a31	a32	a33	a34	a35	a36	a37	a38	a39	a40	a41
Initial	0	67	0	895	66	0	1796	66	0	2696	66
Interm.											
Final	0	67	0	895	66	0	1796	66	0	2696	66
4	a41	a42	a43	a44	a45	a46	a47	a48	a49	a50	a51
Initial	0	42	0	895	42	0	1796	42	0	2696	42
Interm.											
Final	0	42	0	895	42	0	1796	42	0	2696	42
5	a51	a52	a53	a54	a55	a56	a57	a58	a59	a60	a61
Initial	0	18	0	895	18	0	1796	18	0	2696	18
Interm.											
Final	0	18	0	895	18	0	1796	18	0	2696	18
6	a61	a62	a63	a64	a65	a66	a67	a68	a69	a70	a71
Initial	0	18	0	895	18	0	1796	18	0	2696	18
Interm.											
Final	0	18	0	895	18	0	1796	18	0	2696	18
7	a71	a72	a73	a74	a75	a76	a77	a78	a79	a80	a81
Initial	0	18	0	895	18	0	1796	18	0	2696	18
Interm.											
Final	0	18	0	895	18	0	1796	18	0	2696	18
8	a81	a82	a83	a84	a85	a86	a87	a88	a89	a90	a91
Initial	0	42	0	895	42	0	1796	42	0	2696	42
Interm.											
Final	0	42	0	895	42	0	1796	42	0	2696	42
9	a91	a92	a93	a94	a95	a96	a97	a98	a99	a100	a101
Initial	0	67	0	895	66	0	1796	66	0	2696	66
Interm.											
Final	0	67	0	895	66	0	1796	66	0	2696	66
10	a101	a102	a103	a104	a105	a106	a107	a108	a109	a110	a111
Initial	0	92	0	895	92	0	1796	92	0	2696	92
Interm.											
Final	0	92	0	895	92	0	1796	92	0	2696	92
11	a111	a112	a113	a114	a115	a116	a117	a118	a119	a120	a121
Initial	0	117	0	895	117	0	1796	117	0	2696	117
Interm.											
Final	0	117	0	895	117	0	1796	117	0	2696	117

