



FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC

**PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE SOLDAGEM**

JUSSIMAR CORREIA DOS REIS

**AUMENTO DE PRODUTIVIDADE NA MANUTENÇÃO DE
FORNOS ATRAVÉS DE MELHORIAS NO SISTEMA DE
GESTÃO DA QUALIDADE PARA O PROCESSO DE
SOLDAGEM TIG**

Salvador - BA

2015

JUSSIMAR CORREIA DOS REIS

**AUMENTO DE PRODUTIVIDADE NA MANUTENÇÃO DE
FORNOS ATRAVÉS DE MELHORIAS NO SISTEMA DE
GESTÃO DA QUALIDADE PARA O PROCESSO DE
SOLDAGEM TIG**

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Soldagem da Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec como requisito final para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Soldagem.

Orientador: Dr. Charles Chemale Yurgel

Salvador - BA
2015

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

R375a Reis, Jussimar Correia dos

Aumento de produtividade na manutenção de fornos através de melhorias no sistema de gestão da qualidade para o processo de soldagem TIG / Jussimar Correia dos Reis. – Salvador, 2015.

114 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Charles Chemale Yurgel.

Monografia (Especialização em Engenharia de Soldagem) – Programa de Pós-Graduação, Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Salvador, 2015.

1. Processo de soldagem TIG. 2. Radiografia - Solda. 3. Descontinuidades – Defeitos de soldagem. 4. Gestão de qualidade - Soldagem. I. Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. II. Yurgel, Charles Chemale. III. Título.

CDD 671.52

Após apresentação oral do discente e respondidos questionamentos, a banca

resolve:

Considerar aprovado a monografia, atribuindo-lhe nota 8,5 (_____).

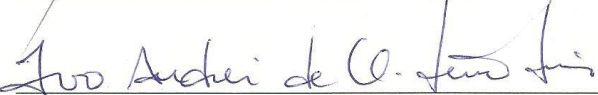
Salvador, 24 de março de 2015.




Dr. Charles Chemale Yurgel – Orientador



Dr. Manoel Carneiro Neto – Professor convidado



M.Sc. Ivo Andrei Oliveira Lino Lima - Professor convidado



Aluno: Jussimar Correia dos Reis

JUSSIMAR CORREIA DOS REIS

**ESTUDO SOBRE MELHORIAS NO SISTEMA DE GESTÃO DA
QUALIDADE PARA O PROCESSO DE SOLDAGEM TIG**

Trabalho de conclusão de curso apresentada como parte dos requisitos para obtenção do certificado de especialista em Engenharia de Soldagem pela Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC.

Aprovado em 24/04/2015

BANCA EXAMINADORA

Dr. Charles Chemale Yurgel – Orientador.
Faculdade tecnologia SENAI CIMATEC

Dr. Manoel Carreira Neto – Professor Convidado.
Faculdade tecnologia SENAI CIMATEC

M. Sc. Ivo Andrei Oliveira Lino Lima – Professor Convidado.
Faculdade tecnologia SENAI CIMATEC

24 março 2015

Aos familiares, pelo carinho atenção e
compreensão.

AGRADECIMENTOS

Aos diretores e funcionários da Qualitec, pelo apoio e incentivo.

Ao orientador Dr. Charles Chemale Yurgel, pela confiança e assistência para a conclusão deste trabalho.

Aos Professores Peter Jan Groetelaars e Adriana Oliveira, pelos conselhos, amizade e eficiente colaboração no desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas do curso, pelo companheirismo.

Ao amigo Pablo Bispo, pelo apoio e incentivo para a conclusão deste trabalho.

“A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro.”

Albert Einstein

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar os principais métodos para o controle de qualidade na soldagem de juntas dos fornos de pirólise em uma indústria petroquímica. A partir dos requisitos exigidos, são descritos o processo de soldagem TIG, as etapas do processo de radiografia, as causas e as correções de vários tipos de defeitos na soldagem a arco elétrico, bem como várias etapas do processo de controle da qualidade. Este trabalho enfoca um estudo de caso que avalia a qualidade das soldas através dos resultados do ensaio de gamagrafia. O estudo compreende um mapeamento das descontinuidades ou defeitos mais frequentes e relevantes do ano de 2010, com a finalidade de entender as dificuldades e propor ações corretivas para garantir o aumento da produtividade. Através de auditorias internas, foram identificados problemas relacionados com a infraestrutura, os conhecimentos prático e teórico da equipe de soldadores, o sistema de gestão de controle da qualidade e a motivação da equipe. Após o mapeamento das oportunidades, foi feito um plano de ação corretivo estruturado e os resultados foram monitorados mensalmente. Com o início do trabalho, o índice de reparo das juntas reduziu 39,8% em 2010, depois 28% em 2011 e chegou a 14,5% em 2012. Esta melhoria na qualidade da solda refletiu na diminuição dos prazos de manutenção, na maior disponibilidade dos fornos para operação, em menores custos de manutenção e no aumento dos lucros da empresa.

Palavras-chave: Processo de soldagem TIG, radiografia, descontinuidades, gestão de qualidade.

ABSTRACT

The objective of this work is to present the main methods for quality control in welding joints of pyrolysis furnaces in a petrochemical industry. From required requisites, it describes the TIG welding process, the X-ray process stages, the causes and corrections of different types of defects in arc welding, and the several steps of the quality control process. It presents a study case that evaluates the quality of the welds through the results from the gammagraphy test. The study embraces a mapping of discontinuities or a mapping of the more frequent and relevant defects in 2010, with the purpose to understand the difficulties and propose corrective actions to ensure an increasing productivity. Through internal audits, related problems were identified: infrastructure, practical and theoretical knowledge of the welding team, quality control management system and team motivation. After mapping the opportunities, a structured corrective action plan was taken. The results were monthly monitored. After that, the joint repair rate decreased 40% in 2010, 28% in 2011, and then, 14.5% in 2012. This improvement in welding quality resulted in lower maintenance periods, greater availability of operating ovens, lower maintenance costs and increase in the profits of the company.

Keywords: TIG welding process, X-ray, discontinuities, quality management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação do processo TIG. Fonte: DBC oxigênio 2006	23
Figura 2 – Representação esquemática do processo TIG, Fonte: Proimp, SENAI (2006).....	24
Figura 3 – Tocha para soldagem TIG. Fonte: Emilio Wainer (1992).....	6
Figura 4 – Componentes da tocha TIG Fonte: DBC oxigênio	27
Figura 5 – ângulo correto da tocha a aproximadamente 20 graus, com a purga do gás em direção à soldagem. desejada. Fonte: DBC oxigênio, 2012	28
Figura 6 – parte trazeira de uma máquina de solda Fonte: DBC oxigênio (2012) ...	29
Figura 7 – Corrente contínua Fonte: SENAC (2008).....	29
Figura 8 – Tipo de corrente e sua polaridade em processo TIG. Fonte: MODONESI (2008).....	30
Figura 9 – Características da fonte com corrente pulsada. Fonte: Machado (1996)	31
Figura 10 – Aspecto do cordão gerado por fonte pulsada. Fonte: okumura (1992) .	32
Figura 11 – Esquema de soldagem TIG em corrente alternada mostrando apagamento instantâneo do arco. Fonte: Rodrigues (1999)	33
Figura 12 – Equipamento com os acessórios: Porta eletrodo, garra e tocha TIG.....	34
Figura 13 – (a) Apresenta o ângulo de afiação do eletrodo de tungstênio para cc- de forma correta (b) de forma errada. Fonte: SENAC (2008)	36
Figura 14 – (a) representa afiação do eletrodo de tungstênio para corrente alternada (b)esquema de afiação para corrente alternada. Fonte: SENAC (2008).....	37
Figura 15 – (a) eletrodo de tungstênio sem afiação (b) eletrodo de tungstênio devidamente afiado. Fonte: DBC oxigênio (2012).....	38
Figura 16 – Comportamento do Argônio e Hélio sobre a tensão e corrente. Fonte: Machado (1996)	40
Figura 17 – Técnicas para a soldagem GTAW manual com metal de adição: (a) desenvolvimento da poça de fusão, (b) recuo da tocha, (c) adição de material, (d) afastamento da vareta e (e) avanço da tocha conduzindo a poça de fusão. Fonte: Wainer (1992).....	44
Figura 18 – a) Alimentador de arame e tocha TIG Cole Wire b) Dispositivo posicionador de tocha com mecanismo oscilador. Fonte: Rodrigues (1999)	45
Figura 19 – Fonte de alta frequência. Fonte: Rodrigues (1999)	47

Figura 20 – Representação de arco piloto. Rodrigues (1999)	48
Figura 21 – Manômetro apresentando vasão e pressão no cilindro. Fonte: DBC oxigênio (2012).....	50
Figura 22 – Esquema dos tipos de poros, a) - distribuída, b) - agrupada, c) - alinhada d) - isolado e) - vermicular (radiografia esquemática). Fonte: autor 2012, f) representação de uma solda com porosidade em um filme radiográfico, Fonte: Almir Quitino (2009).....	54
Figura 23 – a) - gás insuficiente para proteção da poça de fusão, b) - turbilhonamento de gás ou gás excessivo na proteção da poça de fusão, c) - corrente de ar atmosférico na zona de soldagem, d) - bocal muito afastado da zona de soldagem, e) - bocal pequeno f) – impureza no material de base e penetração de água na zona de soldagem	56
Figura 24 – a) Micrografia mostrando a presença de porosidade na forma esférica num cordão de solda em AISI, b) microporosidade entre os ramos dendríticos no mesmo cordão. Fonte: BARRA (1999).....	57
Figura 25 – Porosidade vermicular com direção de crescimento da raiz para o reforço (a) e porosidade agrupada (b). Fonte: Svensson e Marques (1994 e 1995).....	57
Figura 26 – Mordedura na margem da solda. Fonte: Almir Quites 2009 Inspeção de Juntas soldadas por Radiografia	58
Figura 26A – Mordedura na raiz da solda. Fonte: Almir Quites 2009 Inspeção de Juntas soldadas por Radiografia	58
Figura 27 – Localizações comuns para a ocorrência de falta de fusão. Fonte: (ASME B31.3)	60
Figura 28 – Apresenta falta de penetração na raiz nos formatos a, b, c Fonte Marqueze (1995).	61
Figura 29 – Falta de penetração na raiz de uma solda de topo em uma linha de alimentação de água de caldeira. Fonte: Port (1991)	62
Figura 30 – Falta de penetração na junta circunferencial de uma solda de topo. Fonte: Port(1991)	63
Figura 31 – Apresenta formas de contaminação por tungstênio, a) eletrodo toca na poça de fusão, b) eletrodo toca na vareta, c) sobrecarga no eletrodo, d) sobrecarga no eletrodo, e) abertura de arco sem alta frequência. Fonte: Wainer (1995).	63

Figura 32 – Apresentação de inclusão de tungstênio após radiografia de uma solda.....	63
Figura 33 – Causa de inclusão de óxido, a) vareta oxidada ou limpeza entre chanfros inadequada, b) retirada da vareta aquecida da zona de fusão. Fonte: Wainer (1995).....	64
Figura 34 – a) Trincas durante execução do passe de raiz. b) Trinca na ZTA do Tetrafitting de um forno durante a soldagem de tubo novo com tubo envelhecido. Fonte: Quebrando paradigmas nos fornos de pirólises Braskem (2013)	65
Figura 35 – Novo procedimento para biselamento/amanteigamento aplicado na soldagem dos tetrafittings envelhecidos. Fonte: Quebrando paradigmas nos fornos de pirólises Braskem (2013).....	67
Figura 36 – Niple para unir tubo novo com tubo velho. Fonte: Quebrando paradigmas nos fornos de pirolese. Autor	67
Figura 37 – Concavidade na raiz da solda. Fonte: Almir Quites 2009).....	69
Figura 38 – Esquema do fundamento da radiografia. Fonte: (ANDREUCCI, 2009) .	70
Figura 39 – Características das Fontes seladas radioativas industriais Fonte: Andreucci, (2009).....	71
Figura 40 – Ilustração de um irradiador de gamagrafia. Fonte: ANDREUCCI, 2009.	72
Figura 41 – Representa o percentual mensal dos filmes reprovados em 2010. Fonte: Autor (2010)	82
Figura 42 – Representa o percentual mensal de juntas reprovada em 2010.Fonte: Fonte: Autor (2010)	83
Figura 43 – Apresenta a quantidade e os tipos dos defeitos que reprovaram as juntas em 2010. Fonte: Autor (2010).....	84
Figura 44 – Distribuição da ocorrência de descontinuidades em 2010. Fonte: Autor (2010).....	85
Figura 45 – superfície da junta preparada para ser soldada. Fonte: Autor (2010)....	86
Figura 46 – medida do ângulo do chanfro com uso do calibre de solda. Fonte: autor (2010).....	87
Figura 47 – Proteção do bisel com anti oxidante. Fonte: Autor (2010).	87
Figura 48 – Uso de ferramentas adequadas, a) para biseladeira b) acopladora. Fonte: Alumarq (2010).	88

Figura 49 – apresenta os defeitos que reprovou maior quantidade de juntas em 2011. Fonte: Autor (2011).	91
Figura 50 – Representa o percentual mensal de filmes reprovados em 2011. Fonte: autor (2011).	92
Figura 51 – índice de reprovação das juntas em 2011.	93
Figura 52 – Apresenta os defeitos que reprovou as juntas em 2012. Fonte: Autor (2012).	97
Figura 53 – Representa o percentual mensal dos filmes reprovados em 2012. Fonte: Autor (2012)	98
Figura 54 – Apresenta o percentual das juntas soldadas, inspecionadas e reprovadas em 2012. Fonte: Autor (2012)	99
figura 55 – comparativo dos filmes radiografados em 2010 a 2012. Fonte: Autor (2012).	100
Figura 56 – Evolução do número de juntas executadas totais, juntas reprovada e índice de reparo médio anual (RP%) nos anos de 2010 a 2012. Fonte: Autor (2012).	101
Figura 57 – Distribuição de descontinuidades detectadas no ano de 2010 e 2012	102
Figura 58 – comparativo de defeitos que tornaram as juntas radiografadas reprovadas em 2010 a 2012. Fonte: Autor (2012).	102
Figura 59 – Índice acumulado de reprovação por Porosidade. Fonte: Autor (2012)	103
Figura 60 – Índice acumulado de reprovação por falta de fusão. Fonte: Autor (2012).	104
Figura 61 – Índice acumulado de reprovação por mordedura. Fonte: Autor (2012)	104
Figura 62 – Índice acumulado de reprovação por indicação alongada. Fonte: Autor (2012).	105
Figura 63 – Índice acumulado de reprovação por trinca. Fonte: Autor (2012)	105
Figura 64 – apresenta índice de reprovação para liga HP 40 e HTE no período 2010 a 2012. Fonte: Autor (2012)	106
Figura 65 – apresenta índice de reprovação para todas as ligas no período 2010 a 2012 Fonte: Autor (2012)	107
Figura 66 – filmes aprovados e reprovados por liga Fonte: Autor (2012)	108
Figura 67 – Índice reprovação acumulado por liga (2010 a 2012). Fonte: Autor (2012).	109

LISTA DE TABELAS

Tabela – 1 apresentação do nº do bocal em relação ao diâmetro do eletrodo. Fonte: Wainer (1992).....	28
Tabela 2 – apresenta a relação entre corrente(A) e eletrodo de tungstênio	33
Tabela 3 – Composição química dos eletrodos de tungstênio	37
Tabela 4 – Características dos gases de proteção usados no processo TIG. Fonte: Emílio Wainer, 1992	41
Tabela 5 – Condições típicas de soldagem GTAW de aço carbono em juntas de topo(2). Fonte: Quite (1995). Posições: P – plana H – horizontal, V – vertical e SC – sobre cabeça.....	42
Tabela 6 – Condições típicas de soldagem GTAW de Al em juntas de topo com CA. Fonte: Wainer (1992), Posições: P – plana, H – horizontal, V – vertical e SC – sobre cabeça.....	43
Tabela 7 – Radioisótopos (energia x faixa de aplicação) Fonte: Radiografia Industrial Ralpho Silva 2009.	71
Tabela 8 – Relatório de radiografia Fonte: Autor, conforme Norma 1595 d (2004)...	80
Tabela 9 – Apresenta o controle de juntas soldadas e inspecionada por gamagrafia em 2010. Fonte: Autor (2010).	81
Tabela 10 – Apresenta o percentual mensal dos filmes reprovados em 2010. Fonte: Autor (2010)	82
Tabela 11 – representa o percentual mensal de juntas reprovada em 2010. Fonte: Autor (2010).	83
Tabela 12 – Relatório de radiografia Fonte: Autor, (2011), conforme Norma 1595d (2004).....	89
Tabela 13 – Apresenta controle das juntas soldadas e inspecionada por gamagrafia em 2011. Fonte: Autor (2011).	90
Tabela 14 – Tipo e quantidade de defeito que levaram as juntas serem reprovadas em 2011. Fonte: Autor.....	91
Tabela 15 – Informa o percentual mensal de filme reprovado em 2011. Fonte: Autor (2011)	92
Tabela 16 – Apresenta o percentual mensal das juntas soldadas, inspecionadas e reprovadas por gamagrafia em 2011. Fonte: Autor (2011)	93

Tabela 17 – Apresenta 1º relatório de radiografia em 2012. Fonte: Autor (2012), conforme Norma 1595 d (2004).	94
Tabela 18 – Apresenta o ultimo relatório do estudo deste trabalho. Autor (2012), conforme Norma 1595 d (2004).	95
Tabela 19 – Apresenta o controle de juntas soldadas e inspecionada por gamagrafia em 2012. Fonte: Autor (2012).	96
Tabela – 20 Tipo e quantidade de defeito que levaram as juntas serem reprovadas em 2012. Fonte: Autor.....	97
Tabela 21 – apresenta o percentual mensal dos filmes reprovados em 2012. Fonte: Autor (2012)	98
Tabela 22 – Apresenta o percentual das juntas soldadas, inspecionadas e reprovadas por gamagrafia em 2012. Fonte: Autor (2012).	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABENDE** Associação Brasileira de Ensaio Não destrutivo
- IQI** Indicador de Qualidade de Imagem
- PD/VD** Parede Dupla - vista Dupla
- PD/VS** Parede Dupla Vista Simples
- DFF** Distância Fonte Filme
- TIG** Tungsten Inert Gás
- GTAW** Gás Tungsten Arc Welding
- ASME** American Society Mechanical Engineers Standards (Sociedade dos Engenheiros mecânicos dos Estados Unidos).
- AC** Corrente alternada
- CC** Corrente contínua
- DCEN** Corrente contínua eletrodo ligado no polo negativo
- DCEP** Corrente contínua eletrodo ligado no polo positivo
- CC⁺** Corrente contínua eletrodo ligado no polo negativo
- CC⁻** Corrente contínua eletrodo ligado no polo positivo
- EWTh1** Eletrodo de tungstênio com 1% de tória
- ASM** American Society for Metals (Sociedade Americana de Metais)
- ZTA** Zona térmica afetada
- API 1104** American Institute of Petroleum (Instituto Americano de Petróleo)
- AWS** American Welding Society (A Sociedade Americana de Solda)
- PO** Porosidade
- FF** Falta de fusão.
- TR** Trinca.
- MO** Mordedura.
- CO** Concavidade.
- IA** Indicação Alongada.
- FP** Falta de Penetração.
- DI** Deposito Insuficiente.
- IT** Inclusão de Tungstênio
- EP** Excesso de Penetração.
- EL** Entalhe de Lixadeira.

COTEQ Conferência Sobre Tecnologia de Equipamentos.

FBTS Fundação Brasileira de Tecnologia da soldagem.

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas.

SUMARIO

1 INTRODUÇÃO	20
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA	21
1.2 JUSTIFICATIVA	21
1.3 OBJETIVOS	21
1.4 HIPÓTESE	22
1.5 METODOLOGIA	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:	24
2.1 PROCESSO TIG	24
2.1.1 Princípio de Funcionamento	25
2.1.2 Variáveis de processo	26
2.1.3 Equipamentos	27
2.1.3.1 Tocha	27
2.1.4 Fontes de Energia	29
2.1.4.1 Corrente Contínua (CC)	30
2.1.4.2 Corrente Contínua Pulsada	31
2.1.4.3 Corrente Alternada	32
2.1.5 Cabos e Mangueiras	34
2.1.6 Eletrodos	34
2.1.6.1 Eletrodos de Tungstênio Puro	35
2.1.6.2 Eletrodos Ligados	35
2.1.6.3 Eletrodos com Óxido de Cério (EWCe-2)	35
2.1.6.4 Eletrodo de Tungstênio Zirconiado	36
2.1.7 Consumível	38
2.1.7.1 Vareta e Arames	38
2.1.7.2 Gases de Proteção	39
2.1.8 Técnicas de soldagem	43
2.1.8.1 Soldagem Manual	43
2.1.8.2 Soldagem Mecanizada	44
2.1.8.3 Soldagem Semiautomática	45
2.1.8.4 Soldagem Automática	45
2.1.9 Vantagens Do Processo TIG	45

2.1.10 Desvantagens do Processo TIG.....	46
2.1.11 Métodos de Iniciação do Arco	46
2.1.12 Técnica Operatória.....	48
2.2 DESCONTINUIDADE E DEFEITOS EM SOLDAS	52
2.2.1 Diferenças entre Descontinuidades e Defeitos em Soldas.....	52
2.2.2 Classificações das Descontinuidades:	52
2.2.3 Estudos dos Principais Defeitos Presentes na Soldagem:	53
2.2.3.1 Porosidade (porosity or cavities)	53
2.2.3.2 Mordeduras	58
2.2.3.3 Falta de Fusão	59
2.2.3.4 Falta de Penetração	61
2.2.3.5 Inclusão de Tungstênio	63
2.2.3.6 Inclusão de Óxido.....	64
2.2.3.7 Trinca em Material Fundido Envelhecido	65
2.2.3.8 Concavidade	69
2.3 PROCESSOS DE GAMAGRAFIA CONVENCIONAL	70
2.3.1 Princípios da Gamagrafia	70
2.3.2 Tipos de Fonte Radioativa (De Origem Nuclear)	71
2.3.3 Características Físicas dos Irradiadores Gama.....	72
2.4 QUALIDADES NA FABRICAÇÃO DE SOLDAS PARA INDÚSTRIA	
PETROQUÍMICA	73
2.4.1 Controles da Qualidade na Soldagem	73
2.4.1.1 Atribuição dos Inspetores de Solda N1 e N2.....	75
2.4.1.2 Os Processos Escolhidos.....	76
3 ESTUDO DE CASO: SISTEMA DE GESTÃO NA QUALIDADE DA SOLDA	
UTILIZANDO O PROCESSO DE SOLDAGEM TIG	77
3.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA EM ESTUDO	77
3.2 METODOLOGIA DO ESTUDO	77

3.3 FALHA IDENTIFICADAS NA AUDITORIA E MONITORAMENTO DO SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE DAS SOLDAS, UTILIZANDO O PROCESSO DE SOLDAGEM TIG	79
3.4 COLETAS DE DADOS PARA ANÁLISE DO PROBLEMA	79
3.4.1 Relatório de Radiografia - 2010.....	79
3.4.2 Tabela de Controle de Juntas Soldadas e Inspeccionadas por Gamagrafia em 2010.....	81
3.4.2.1 Percentual Mensal de Filmes Reprovados em 2010	81
3.4.2.2 Percentual mensal de juntas reprovadas em 2010	83
3.4.2.3 Defeitos que Levaram as Juntas a Serem Reprovadas no ano de 2010	83
3.5 AÇÕES INCORPORADAS PARA MELHORAR A PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DAS JUNTAS SOLDADAS ATRAVÉS DO PROCESSO DE SOLDAGEM TIG:	86
4 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	89
4.1 RELATÓRIO DE GAMAGRAFIA 2011	89
4.2 CONTROLE DE JUNTAS SOLDADAS E INSPECIONADAS POR GAMAGRAFIA EM 2011	90
4.2.1 Defeitos Que levaram as juntas a Serem reprovadas em 2011	91
4.2.2 Percentual de Filmes Reprovados em 2011	92
4.2.3 Percentual mensal de Juntas Reprovadas em 2011	92
4.3 RELATÓRIOS DE GAMAGRAFIA 2012.....	94
4.4 CONTROLE DE JUNTAS INSPECIONADAS POR GAMAGRAFIA EM 2012 ...	96
4.4.1 Defeitos que levaram as Juntas a Serem Reprovadas em 2012	96
4.4.2 Percentual Mensal de Filmes Reprovadas em 2012.....	97
4.4.3. Percentual de Mensal de Juntas Reprovadas em 2012.....	98
4.5 PROBLEMAS OBSERVADOS:	99
5 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS 2010 - 2012	100
5.1 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DOS FILMES RADIOGRAFADOS 2010 - 2012	100

5.2 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DAS JUNTAS RADIOGRAFADAS 2010 - 2012	101
5.3 COMPARATIVO DOS DEFEITOS QUE TORNARAM OS FILMES REPROVADAS 2010 - 2012	101
5.4 ANÁLISE DOS PRINCIPAIS DEFEITOS POR SOLDADOR 2010 - 2012.....	103
5.5 ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS SOLDADORES NA SOLDAGEM DAS LIGAS (HK 40 e HTE) NO PERÍODO DE 2010 A 2012.– 2012.....	106
5.6 ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS SOLDADORES, LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO TODOS OS TIPOS DE LIGAS SOLDADAS NO PERÍODO DE 2010 A 2012.....	107
5.7 COMPARAÇÃO DOS FILMES APROVADOS E REPROVADOS POR TIPO DE LIGA 5.7 NO PERÍODO DE 2010 A 2012.....	108
5.8 COMPARAÇÃO DO ÍNDICE DE REPROVAÇÃO POR TIPO DE LIGA NO PERÍODO DE 2010 A 2012.....	109
6 CONCLUSÃO	110
6.1 RECOMENDAÇÕES.....	112

1 INTRODUÇÃO

A indústria petroquímica tem discutido, intensivamente, questões relacionadas à confiabilidade dos equipamentos e suas aplicações, e destinado maior atenção para aqueles expostos a altas temperaturas e pressões, que possuem grandes inventários e estão em contato com fluidos de alto risco. Esta situação expõe os equipamentos a condições extremas de funcionamento, que podem interferir na ocorrência de falhas de grandes proporções, capazes de ocasionar grandes perdas materiais, ambientais e humanas.

Diante deste cenário, a indústria busca técnicas que possibilitem soluções para melhorar a qualidade dos equipamentos, de forma a garantir um funcionamento harmonioso, evitando, desta forma, prejuízos econômicos. Apesar de ser muito importante, a melhoria nos projetos e na fabricação de novos equipamentos não é o único foco das grandes empresas. Deve-se levar em consideração que, durante a vida útil dos equipamentos, as intervenções de manutenção têm grande importância e devem ser feitas conforme as normas de referência e dentro dos requisitos de qualidade requeridos.

Este trabalho aborda algumas práticas de melhorias no controle de qualidade na fabricação e execução de reparos em soldas realizadas nas tubulações dos fornos de uma indústria petroquímica, através do processo de soldagem TIG. A pesquisa foi realizada de forma qualitativa, bibliográfica e exploratória, fundamentada em um estudo de caso (YIN, 2005).

A revisão bibliográfica foi realizada sobre gestão da qualidade para juntas soldadas, requisitos de qualidade, práticas de controle da qualidade, variáveis do processo de soldagem TIG, ensaio não destrutivo pelo método de radiografia e causas e controle dos principais defeitos em soldas. Através destes conhecimentos, foi realizado um estudo de caso com o objetivo de avaliar e corrigir as causas das discontinuidades e dos defeitos nas juntas soldadas, que comprometem a produtividade nos serviços de manutenção e acarretam uma elevação dos custos das intervenções.

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA

Este trabalho limita a verificação da efetividade da aplicação de um sistema de gestão da qualidade para soldagem através do processo TIG, avaliando as causas do elevado índice de reparo na soldagem das serpentinas dos fornos de pirólise de uma planta petroquímica. Após a análise, foram realizadas propostas para a melhoria na qualidade da soldagem.

1.2 JUSTIFICATIVA

Atualmente, a competitividade tem levado as empresas, juntamente com a engenharia, a buscar soluções que as façam atingir o limite de suas capacidades produtivas, seja por meio de otimização dos bens de produção ou dos processos produtivos. O alto índice de juntas reprovadas no projeto em estudo, traz como consequência o aumento no período e nos custos de manutenção.

Esta pesquisa proporciona, através de melhorias no sistema de gestão da qualidade, o aumento na fabricação das soldas, o que aumenta o índice de juntas aprovadas em menor intervalo de tempo nas intervenções para manutenção.

1.3 OBJETIVOS

- Geral

Apresentar um estudo com a finalidade de detectar as causas que tornam as soldas reprovadas quando se utiliza o processo de soldagem TIG, bem como aplicar procedimentos corretivos que possam eliminar ou controlar os fatores causadores das descontinuidades ou defeitos nas juntas soldadas.

- Específico

Aplicar um método de gestão de qualidade para eliminar ou controlar os principais defeitos e descontinuidades, que tornam as soldas reprovadas quando se utiliza o processo de soldagem TIG, no que diz respeito a:

- identificar, através dos resultados da avaliação radiográfica, os principais tipos de defeitos;
- apresentar o índice de reprovação das juntas radiografadas;
- aplicar os métodos para eliminar os principais defeitos e descontinuidades;
- mostrar, através de gráficos, o desempenho dos soldadores em relação aos defeitos detectados.

1.4 HIPÓTESE

Saber se, com a aplicação de melhorias no sistema de gestão da qualidade na soldagem para o processo TIG, será possível verificar as seguintes hipóteses:

- ✓ disponibilizar os equipamentos em manutenção preventiva ou corretiva em menor intervalo de tempo para as condições normais de operações;
- ✓ evitar retrabalho;
- ✓ diminuir os custos e evitar lucro cessante;
- ✓ tornar os colaboradores mais motivados;
- ✓ fornecer maior segurança aos operadores e soldadores;
- ✓ obter aumento da preservação ambiental e saúde.

1.5 METODOLOGIA

Este estudo foi realizado através de pesquisa bibliográfica e exploratória na forma qualitativa, utilizando livros, artigos e revistas, além dos conhecimentos adquiridos ao longo desta pesquisa. Este trabalho é composto de uma introdução onde constam o tema, o problema, a justificativa, os objetivos, as hipóteses e a metodologia utilizada.

O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica onde é descrito o processo de soldagem TIG, o processo de gamagrafia convencional, o defeito em soldas e a qualidade na fabricação das soldas.

O terceiro capítulo mostra o estudo de caso que caracteriza o universo da pesquisa, onde se relata a descrição da empresa, a avaliação do processo produtivo e a coleta de dados para a análise do problema.

O quarto capítulo aborda as ações incorporadas para o aumento da qualidade da solda através do uso do processo de soldagem TIG.

O quinto capítulo apresenta a discussão dos resultados de 2011 e 2012 após a aplicação de ações de melhorias.

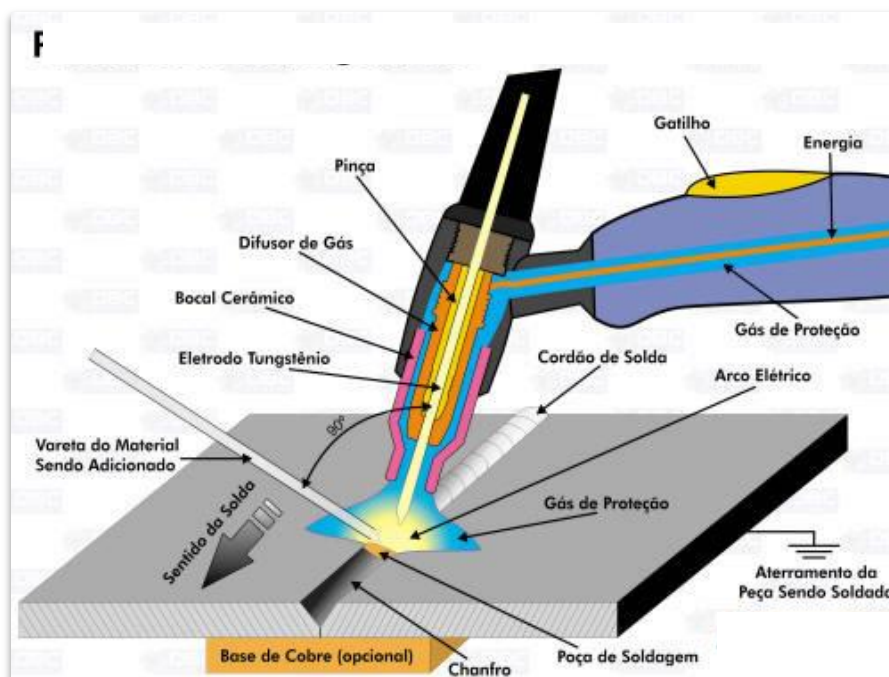
No sexto capítulo realiza-se a comparação dos resultados obtidos em 2010, 2011 e 2012.

E, por último, chega-se à conclusão do estudo, contextualizando o problema, objetivos e as hipóteses.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PROCESSO DE SOLDAGEM TIG

Figura 1 – Representação do processo de soldagem TIG.



Fonte: DBC oxigênio 2006

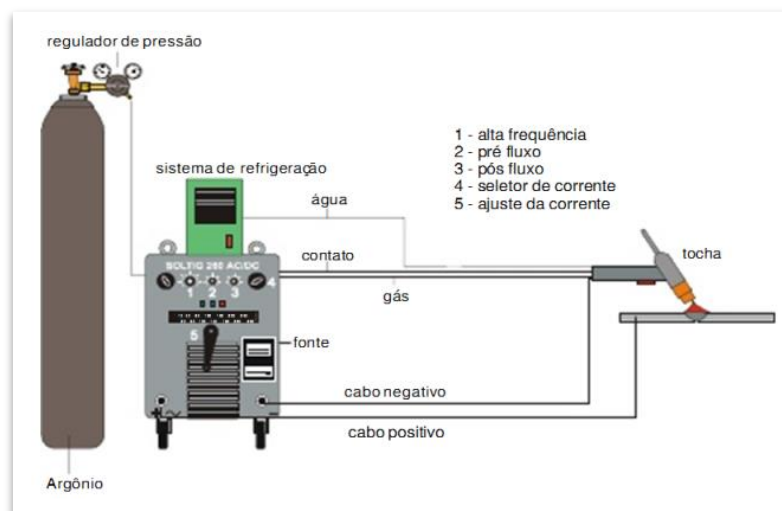
Conforme Wainer *et al.* (1992), o processo de soldagem TIG (Tungsten Inert Gas) ou GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) utiliza como fonte de calor um arco elétrico mantido entre um eletrodo não consumível de tungstênio e a peça a ser soldada. A soldagem pode ser realizada com metal ou sem metal de adição (solda autógena). A proteção da região de soldagem é feita por um fluxo de gás inerte.

Este processo surgiu em 1930, mas seu grande desenvolvimento ocorreu em 1942, nos Estados Unidos, devido à necessidade de disponibilidade de processos de soldagem eficientes para materiais difíceis como o alumínio e o magnésio. No início da Segunda Guerra Mundial, o processo TIG também foi utilizado na indústria de aviação para substituir os arrebites.

Atualmente o processo TIG é mais utilizado na soldagem de ligas de alumínio, magnésio, titânio, aços inoxidáveis e aços liga e em de peças de pequena espessura (da ordem de mm) e no passe de raiz na soldagem de tubulações de aço carbono. A figura 1 ilustra a representação do processo TIG.

2.1.1 Princípio de Funcionamento

Figura 2 – Representação esquemática do processo TIG.



Fonte: Proimp, SENAI (2006).

O funcionamento do processo TIG ocorre através do eletrodo de tungstênio (ou liga de tungstênio) preso a uma tocha. Por essa mesma tocha é alimentado o gás que irá proteger a soldagem contra a contaminação da atmosfera. O arco elétrico é criado pela passagem de corrente elétrica pelo gás de proteção ionizado, estabelecendo-se o arco entre a ponta do eletrodo e a peça.

O arco elétrico TIG é bastante estável, suave e produz soldas com boa aparência e acabamento. Sua operação, normalmente, é manual, já que nesta condição é possibilitada a execução da solda em qualquer posição. Quanto à mecanização do processo, é comum e fácil de ser implementada com o uso de dispositivos auxiliares de soldagem adequados. A figura 2 ilustra a representação esquemática do processo TIG.

Outra característica típica da soldagem TIG é a possibilidade de usar o próprio metal de base como metal de adição, quando este não estiver disponível comercialmente, bastando para isso cortar pedaços do metal base com uma forma apropriada particularmente para a soldagem manual.

2.1.2 Variáveis do Processo de Soldagem TIG

As variáveis de referências para qualificação do procedimento de soldagem, segundo a norma ASME, seção IX, são:

- ❖ metal-base;
- ❖ metal de adição;
- ❖ tipo de gás de proteção;
- ❖ tipo de junta;
- ❖ posições de soldagem;
- ❖ características elétricas;
- ❖ técnicas de soldagem.
- ❖ preaquecimento;

Dentre estas, as seis primeiras são classificadas como variáveis essenciais para a qualificação de soldadores, segundo a mesma norma.

O tipo de material está relacionado com a transmissão de calor através da junta. Então, as juntas soldadas com materiais de elevada condutibilidade térmica, deve possuir características de rápida dissipação de calor.

A espessura do material também está relacionada com a transmissão de calor. Para diminuir a perda de calor pela junta, utiliza-se, por exemplo, um chanfro em simples V. Neste caso, a espessura do material é diminuída no local.

De acordo com Wainer (1995), cada processo de soldagem tem sua eficiência térmica; portanto, o calor aplicado na peça seja no máximo a quantidade que a mesma possa dissipá-la.

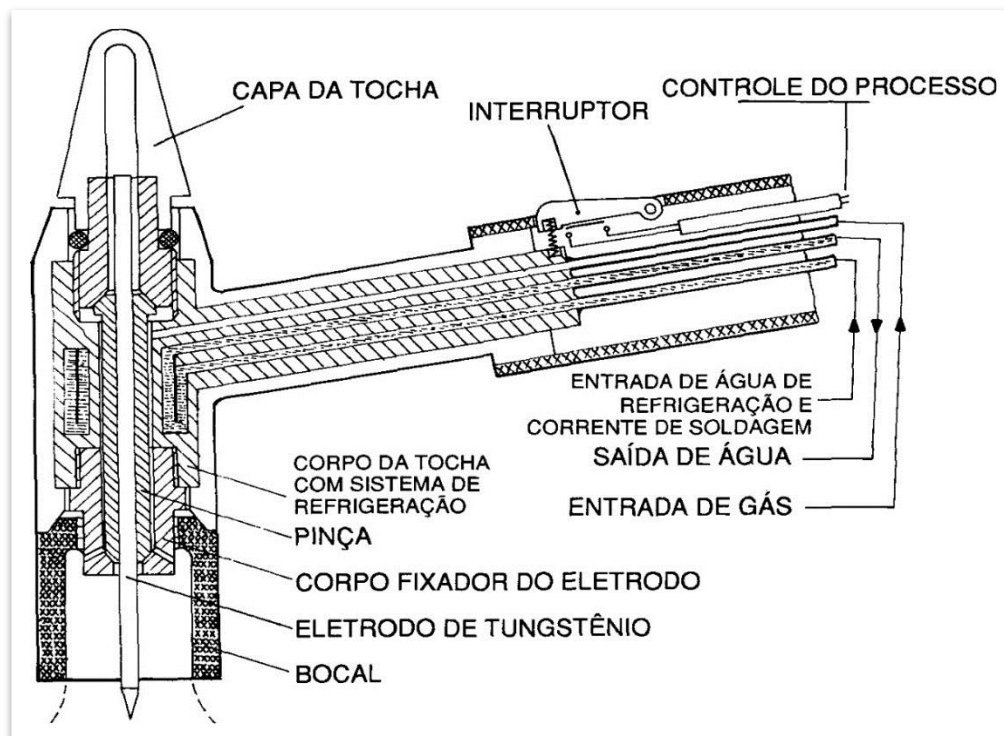
O grau de penetração também é uma função do processo de soldagem, onde a junta deve permitir a penetração ao longo de toda a espessura da peça. As juntas com geometria complicada como as com chanfros em U, exigem um tempo de usinagem muito maior do que uma junta com chanfro em V. A economia do metal de adição é função do volume da junta. Assim, uma junta com área menor utilizará menor quantidade de material de adição.

Conforme a posição de soldagem, o ângulo do chanfro pode ou não ajudar na operação, dependendo dos componentes da tensão superficial. Assim, um chanfro em U é mais fácil de se soldar do que um chanfro em V.

2.1.3 Equipamentos

2.1.3.1 Tocha

Figura 3 – Tocha para soldagem TIG.



Fonte: Emilio Wainer (1992).

A tocha tem como função suportar o eletrodo de tungstênio e fornecer o gás de proteção até o arco de forma apropriada, sendo classificada, basicamente, pelo seu mecanismo de refrigeração.

As tochas refrigeradas à gás são mantidas na temperatura adequada pelo efeito de resfriamento causado pelo próprio gás de proteção. Estas tochas estão limitadas a uma corrente máxima de cerca de 200 A. Já as tochas refrigeradas à água, como ilustrada na figura 3, promovem a circulação de água, normalmente em circuito fechado, para refrigeração. Desta forma, pode-se dispor de tochas que suportam correntes de até 1000 A.

A figura 4 apresenta os componentes de uma tocha utilizada no processo de soldagem TIG.

Figura 4 – Componentes da tocha TIG.



Fonte: DBC oxigênio

Internamente, as tochas possuem uma pinça que serve para segurar o eletrodo de tungstênio e fazer o contato elétrico. Elas possuem, ainda, bocais (cerâmicos ou metálicos) para direcionamento do fluxo de gás fornecidos em diversos diâmetros. Veja os exemplos na tabela 1.

Tabela 1: Apresentação do nº do bocal em relação ao diâmetro do eletrodo.

Aço inoxidável; CCPD (-); gás argônio		
Diâmetro do eletrodo (mm)	Número do bocal (*)	Vazão (l/min)
1,6	4 - 6	5
2,4	4 - 6	6
3,2	6 - 8	6
4,8	8 - 10	7
Alumínio: corrente alternada com alta frequência; gás argônio		
Diâmetro do eletrodo (mm)	Número do bocal	Vazão (l/min)
1,6	4 - 6	7
2,4	6 - 7	8
3,2	7 - 8	10
4,8	8 - 12	12
6,4	10 - 12	14

Fonte: Wainer (1992).

O objetivo da utilização dos bocais é produzir um fluxo laminar do gás de proteção. Os bocais podem ser fabricados com materiais cerâmicos, metais revestidos com cerâmicos, quartzo fundido ou outros materiais. Dentre estes, os bocais cerâmicos são os mais baratos e mais populares, apesar de serem

quebradiços e necessitem de troca constante. Os bocais metálicos tem vida útil mais longa e são usados principalmente em processos automatizados que operam com correntes acima de 250 A.

O ângulo da tocha durante uma soldagem deve ter entre 15 e 20 graus e o sentido deve ser sempre de forma que a tocha purgue na direção da solda, conforme apresenta a figura 5.

Figura 5 – Ângulo correto da tocha a aproximadamente 20 graus, com a purga do gás em direção à soldagem desejada.



Fonte: DBC oxigênio, 2012.

2.1.4 Fontes de Energia

Conforme Machado (1996), as fontes usadas nos processos TIG são do tipo corrente constante, pois, uma vez sendo um processo tipicamente manual, ao haver variação no comprimento do arco e, conseqüentemente, na tensão, a variação na corrente (que controla a aposição de calor no processo) será mínima. Esta energia necessária pode ser fornecida, por corrente alternada (AC) ou corrente contínua (CC), tanto por fontes de transformador-retificadores quanto por geradores.

A figura 6 apresenta a parte traseira de uma máquina de solda que mostra o cabo de força, a voltagem, a ventoinha de refrigeração, o selo técnico e a entrada do gás de proteção.

Figura 6 – Parte traseira de uma máquina de solda.

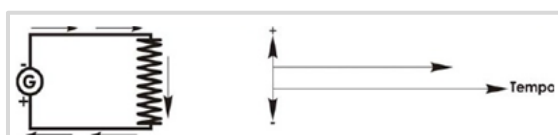


Fonte: DBC oxigênio (2012)

2.1.4.1 Corrente Contínua (CC)

Em corrente contínua (CC), na maioria dos casos, utiliza-se polaridade negativa, onde os elétrons fluem do eletrodo para a peça e os íons no sentido contrário, conforme figura 7.

Figura 7 - Corrente contínua.



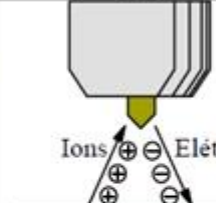
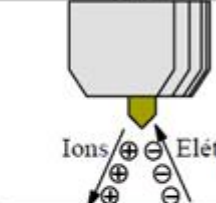
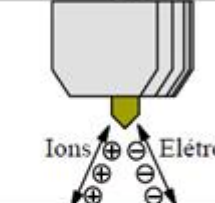



Fonte: SENAC (2008)

Assim sendo, 70% do calor estará na peça e somente 30 % no eletrodo. Desta forma, além de preservar o eletrodo, a corrente contínua eletrodo negativo (DCEN) também prevê maior penetração. Quando, entretanto, for importante o efeito de limpeza catódica, propiciada pela saída de elétrons da peça, a corrente contínua eletrodo negativo (DCEP) pode ser utilizada.

A limpeza catódica é particularmente importante na soldagem de materiais que tem óxidos refratários, como alumínio e magnésio, que são retirados desta maneira. Esta forma de operação, entretanto, por manter o eletrodo extremamente aquecido, necessita de eletrodos de diâmetro maiores, ficando sua capacidade neste processo em cerca de um décimo do que quando operando em DCEN. A

figura 8 apresenta características referentes ao efeito do tipo de corrente e polaridade no processo TIG.

Figura 8 – Tipo de corrente e sua polaridade em processo TIG.

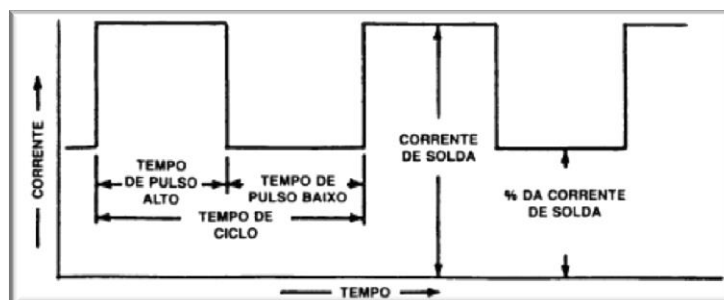
Tipo de Corrente:	CC-	CC+	CA
Fluxo de elétrons e ions:			
Perfil do cordão:			
Limpeza de óxido:	Não	Sim	Sim (meio ciclo)
Balanco de calor (aprox.):	70% na peça 30% no eletrodo	30% na peça 70% no eletrodo	50% na peça 50% no eletrodo

Fonte: MODONESI (2008).

2.1.4.2 Corrente Contínua Pulsada:

A corrente contínua pulsada envolve a variação repetitiva da corrente do arco entre um valor mínimo (“background”) e um valor máximo, controlando-se o tempo do pulso, o tempo no valor mínimo, o nível de corrente máximo e o nível de corrente mínimo, conforme figura 9.

Figura 9 – Características da fonte com corrente pulsada.

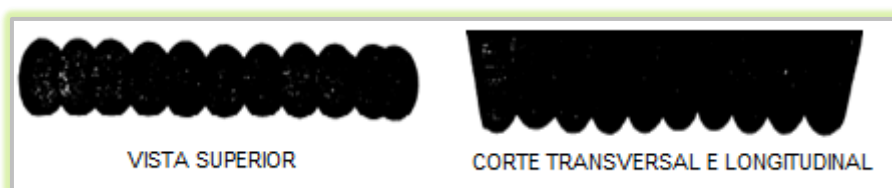


Fonte: MACHADO (1996).

A principal vantagem da corrente pulsada é permitir uma combinação de força, boa penetração e fusão do pulso, enquanto mantém a área de soldagem relativamente fria. É possível obter maiores penetrações do que em corrente contínua constante e trabalhar com materiais mais sensíveis à aposição de calor com minimização das distorções. Por estes motivos, o processo também é particularmente útil na soldagem de materiais muito finos.

Apesar de muito utilizada nos processos automatizados, a corrente pulsada oferece vantagens também para a soldagem manual. Os soldadores mais inexperientes podem aumentar a sua habilidade através da contagem dos pulsos para controlar a velocidade da tocha e do arame frio de alimentação. Para os soldadores mais experientes, permite a soldagem de materiais mais finos e ligas não similares com maior facilidade. A figura 10 representa um cordão de solda realizado por corrente pulsante.

Figura 10 – Aspecto do cordão gerado por fonte pulsada.



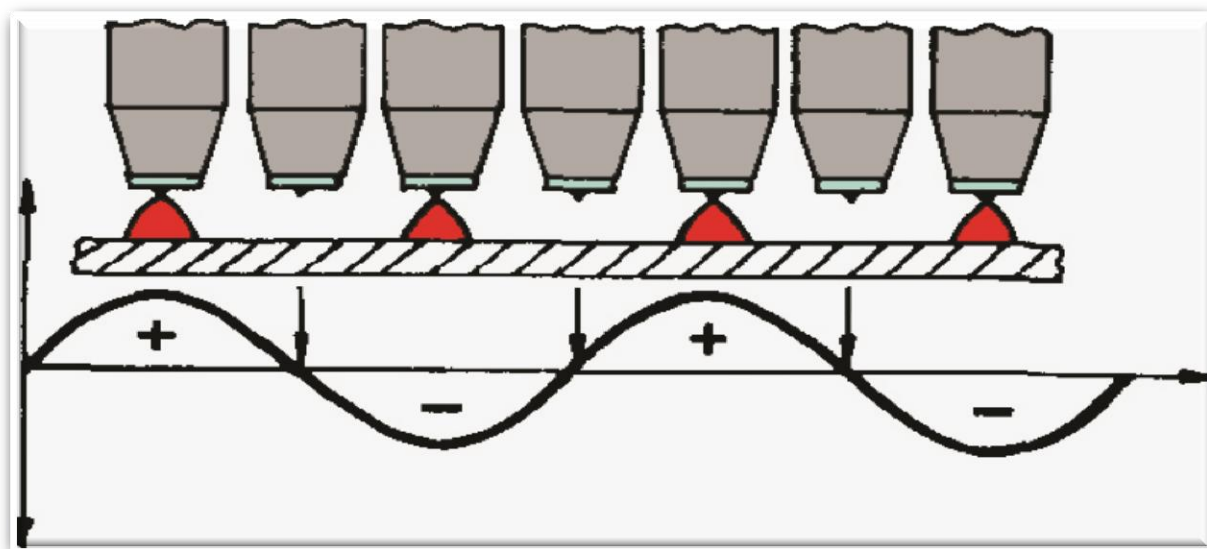
Fonte: OKUMURA (1982).

2.1.4.3 Corrente Alternada

A corrente alternada (CA) é de grande utilidade em solda TIG, pois combina a limpeza catódica do processo com o eletrodo no polo positivo, com a penetração mais profunda do eletrodo negativo. Entretanto, quando em operação, diversos fenômenos podem ocorrer e devem ser analisados.

Ao tornar-se negativo, o eletrodo termiônico de tungstênio provê elétrons para a reignição do arco, imediatamente após ter passado pelo ponto de corrente zero. Entretanto, ao tornar-se positivo, o mesmo não ocorrerá, pois a poça não poderá suprir elétrons até que um determinado nível de tensão seja atingido. Isto deriva de diferentes aspectos como área mais extensa da poça, material menos termiônico e inércia na mudança de direção dos elétrons. A figura 11 demonstra estas características.

Figura 11 – Esquema de soldagem TIG em corrente alternada mostrando apagamento instantâneo do arco.



Fonte: Rodrigues (1999).

Existe uma grande relação entre os valores típicos de correntes (A) e os eletrodos de tungstênio. Veja a demonstração na tabela 2, quando utiliza o gás de proteção argônio.

Tabela 2 – Apresenta a relação entre corrente (A) e eletrodo de tungstênio.

Diâmetro do eletrodo (mm)	Corrente contínua		Corrente alternada					
	Polaridade direta	Polaridade reversa	Onda desbalanceada			Onda balanceada		
	EWP; EWTh-1 EWTh-2; e EWTh-3	EWP; EWTh-1 EWTh-2; e EWTh-3	EWP	EWTh-1 EWTh-2 EWZr	EWTh-3	EWP	EWTh-1 EWTh-2 EWZr	EWTh-3
0,25	até 15	(**)	até 15	até 15	(**)	até 15	até 15	(**)
0,50	5-20	(**)	5-15	5-20	(**)	10-20	5-20	10-20
1,02	15-80	(**)	10-60	15-80	10-80	20-30	20-60	20-60
1,59	70-150	10-20	50-100	70-150	50-150	30-80	60-120	30-120
2,38	150-250	15-30	100-160	140-235	100-235	60-130	100-180	60-180
3,18	250-400	25-40	150-210	225-325	150-325	100-180	160-250	100-250
3,97	400-500	40-55	200-275	300-400	200-400	160-240	200-320	160-320
4,76	500-750	55-80	250-350	400-500	250-500	190-300	290-390	190-390
6,35	750-1000	80-125	325-450	500-630	325-630	250-400	340-525	250-525

Fonte: Wainer (1992).

2.1.5 Cabos e Mangueiras

Os cabos são usados para conduzir a corrente de soldagem e o diâmetro destes cabos deve ser compatível com a corrente de soldagem usada. As mangueiras são usadas para conduzir o gás ou a mistura destes e, se for o caso, água para refrigeração até a tocha de soldagem, conforme a figura 12.

Figura 12 – Equipamento com os acessórios: porta eletrodo , garra e tocha TIG.



Fonte: DBC oxigênio (2012)

2.1.6 Eletrodos

No processo TIG, os eletrodos não são consumíveis e tem o papel de servir como um dos terminais do arco que irá gerar o calor para o processo. Ao aproximar-se da sua temperatura de fusão (341°C), o tungstênio torna-se termoiônico, como uma fonte disponível de elétrons. Ele alcança esta temperatura através de aquecimento por resistência e, caso não haja um forte efeito de resfriamento pela saída dos elétrons de sua extremidade, esta ponta pode fundir-se.

2.1.6.1 Eletrodos de Tungstênio Puro

Os eletrodos de tungstênio puro (EWP) possuem, no mínimo, 99,5 % de tungstênio (W) e tem uma capacidade de corrente inferior aos dos eletrodos de liga de tungstênio. Entretanto, são muito utilizados em soldagem com CA, pois mantém uma extremidade limpa e arredondada, que provê boa estabilidade ao arco neste processo. Entre suas vantagens estão: ser mais barato, propiciar pequeno efeito de retificação da corrente quando utilizado em corrente alternada e ter boa estabilidade do arco elétrico. Porém, não é bom emissor de elétrons, tem fácil desgaste e não suporta altas correntes. É usado na soldagem do alumínio e de suas ligas com ângulo de afiação de 90° .

2.1.6.2 Eletrodos Ligados

Eletrodos com óxido de tório, a tória, possuem 1% ou 2% deste material, sendo classificados, respectivamente, como EWTh-1 e EWTh-2. A tória incrementa a emissividade termiônica do tungstênio, permitindo a operação em correntes mais elevadas (aproximadamente 20 % de acréscimo). Suas vantagens são: ter difícil desgaste (não se verifica o arredondamento da ponta), suportar altas correntes e ser bom emissor de elétrons. Porém é mais caro, quando utilizado em corrente alternada, propicia o efeito de retificação da corrente e reduz sua estabilidade.

A cor de identificação do tungstênio varia conforme a percentagem de tória: amarelo (0,9 a 1,2% de tória), lilás (2,8 a 3,2% de tória) e laranja (3,8 a 4,2% de tória). Ele é normalmente utilizado com corrente contínua e na soldagem dos aços carbono e baixa liga e seu ângulo de afiação varia de 30° a 50° .

2.1.6.3 Eletrodos com Óxido de Cério (EWCe-2)

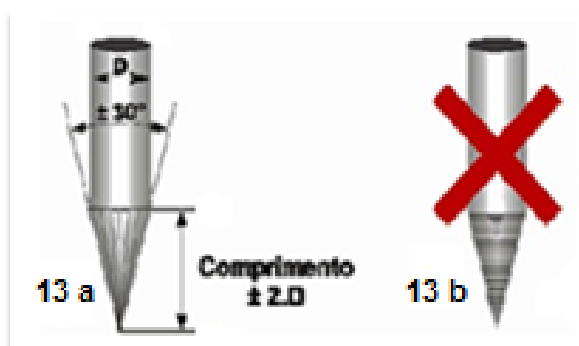
A céria possui características muito semelhantes aos dos torinados com a vantagem de não trabalhar com elementos radioativos. Estas mesmas características são mantidas nos eletrodos com óxido de lantânio. Já os eletrodos com óxido de zircônio (EWZr) têm características intermediárias para soldagem entre os eletrodos puros e os torinados.

2.1.6.4 Eletrodo de Tungstênio Zirconiado

Normalmente utilizado com corrente alternada, apresenta cores de identificação: marrom (0,3 a 0,5% de zircônia) e branco (0,7 a 0,9% de zircônia). Os eletrodos são geralmente apontados antes de ser iniciada a operação de soldagem, sendo esta variável bastante importante para garantir uma boa repetitividade de resultados.

Na soldagem com corrente contínua (eletrodo negativo), o ângulo de afiação do eletrodo é da ordem de 30° a 45° , sendo realizado por meio de esmerilhamento. Os riscos do esmerilhamento devem ser na direção paralela ao eixo do eletrodo para facilitar a passagem dos elétrons, conforme figura 13a. A figura 13b ilustra a afiação do eletrodo de forma errada.

Figura 13 – **a)** Apresenta o ângulo de afiação do eletrodo de tungstênio para cc de forma correta.
b) Apresenta o ângulo de afiação do eletrodo de tungstênio para cc de forma errada.



Fonte: SENAC (2008)

Na soldagem com corrente alternada, os eletrodos com diâmetros inferiores a 1,6 mm não são afiados e aqueles com diâmetros maiores ou iguais a 1,6 mm são afiados com ângulo aproximado de 90° , conforme figuras 14a e 14b. Em caso de a extremidade do eletrodo ser contaminada pelo contato com a poça de fusão ou com a vareta, ela deve ser eliminada. O afiamento é semelhante ao realizado em corrente contínua de eletrodo negativo.

Figura 14 – a) Representa afiação do eletrodo de tungstênio para corrente alternada. b) Esquema de afiação corrente alternada



Fonte: SENAC (2008)

Os eletrodos mais comumente usados são varetas sintetizadas de tungstênio puro ou com adição de elementos de liga, tória (óxido de tório) ou zircônia (óxido de zircônio) e sua função é conduzir a corrente elétrica até o arco. A capacidade de condução varia com a composição química, com o diâmetro do eletrodo e com o tipo de corrente de soldagem a ser usada. A tabela 3 apresenta a classificação AWS e a análise química dos eletrodos para soldagem TIG.

Tabela 3 – Composição química dos eletrodos de tungstênio.

Classificação AWS	Composição			
	Tungstênio (mín.)	Tória	Zircônio	Outros (máx.)
EWP	99,5	-	-	0,5
EWTh-1	98,5	0,8 - 1,2	-	0,5
EWTh-2	97,5	1,7 - 2,2	-	0,5
EWTh-3 (*)	98,95	0,35 - 0,55	-	0,5
EWZr	99,2	-	0,15 - 0,40	0,5

Fonte: Wainer (1992).

Eletrodos de tungstênio puro têm menor custo e são usados com corrente alternada. Eletrodos com adição de zircônia apresentam melhor desempenho que eletrodos de tungstênio puro e também são usados com corrente alternada. Eletrodos com adição de tória são normalmente usados com corrente contínua.

Os eletrodos de tungstênio, normalmente, são apontados por meios químicos ou mecânicos, antes de se iniciar a operação de soldagem e, no caso de soldagem mecanizada, a configuração da ponta do eletrodo pode ser uma variável importante para se garantir uma boa repetitividade de resultados. Ver exemplo na figura 15.

Figura 15 – **(a)** Eletrodo de tungstênio sem afiação. **(b)** Eletrodo de tungstênio devidamente afiado.



Fonte: DBC oxigênio 2012.

Na soldagem com eletrodos consumíveis, a abertura do arco é feita tocando o eletrodo na peça, mas na soldagem TIG, isto não é recomendado, pois favorece a transferência de tungstênio para a peça, além de danificar o eletrodo. Vários dispositivos podem ser usados para iniciar o arco: arco piloto, ignitor de alta frequência e controle pulsado.

2.1.7 Consumíveis

Os consumíveis principais na soldagem TIG são os gases de proteção, as varetas e os arames. Os eletrodos de tungstênio, apesar de serem ditos não consumíveis, desgastam-se durante o processo, devendo ser reconicionados e substituídos com certa frequência, assim como os bocais de gás.

2.1.7.1 Varetas e Arames

O metal de adição para a soldagem manual é fornecido na forma de varetas com comprimento em torno de 1,0 m. Para a soldagem mecanizada, o metal é fornecido na forma de um fio enrolado em bobinas com diferentes capacidades, dependendo do equipamento usado. Os diâmetros dos fios e varetas são padronizados e variam entre 0,5 e 5 mm aproximadamente.

Os metais de adição estão disponíveis numa ampla faixa de materiais e ligas. Geralmente a composição química dos metais de adição tem limites de tolerância muito inferiores aos do metal de base. Eles são classificados de acordo com sua composição química e com as propriedades mecânicas do metal depositado.

A escolha do metal de adição para uma determinada aplicação é feita em função da composição química e das propriedades mecânicas desejadas para a

solda. Em geral, usa-se metal de adição similar ao metal de base, mas não necessariamente idêntico.

O diâmetro do fio ou vareta é escolhido em função da espessura das peças a serem unidas, da quantidade de material a ser depositado e dos parâmetros de soldagem. Os catálogos dos fabricantes geralmente apresentam informações úteis na escolha de metal de adição e aplicações típicas dos produtos.

2.1.7.2 Gases de Proteção

Os gases de proteção usados na soldagem TIG são inertes, principalmente o argônio, o hélio e misturas destes. Em alguns casos são usadas misturas especiais como as que contêm hidrogênio, usadas na soldagem de aços inoxidáveis e as que contêm nitrogênio, opcionais na soldagem de cobre e suas ligas.

a) Argônio

O argônio utilizado em processos de soldagem normalmente possui uma pureza de 99,95%, sendo aceitável para a maioria dos metais, excetuando-se aqueles reativos ou refratários. A solda realizada com argônio obtêm as seguintes vantagens:

- ✓ melhor estabilidade do arco;
- ✓ menor consumo;
- ✓ menores tensões de arco;
- ✓ maior facilidade na abertura do arco e melhor efeito de limpeza dos óxidos na soldagem com corrente alternada em alumínio e magnésio;
- ✓ possibilita um arco mais suave;
- ✓ penetração reduzida;
- ✓ baixo custo e alta disponibilidade;
- ✓ boa proteção com baixos fluxos;
- ✓ maior resistência a ventos cruzados.

A menor penetração é particularmente útil na soldagem de materiais finos ou soldagens verticais ou sobre cabeça.

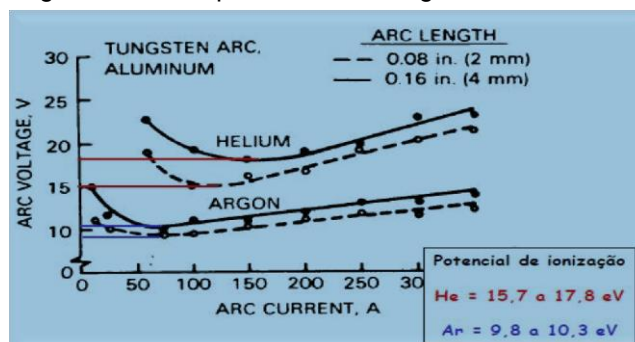
b) Hélio

O hélio transmite maior calor para uma mesma corrente e tensão que o argônio e, portanto, é particularmente importante na soldagem de peças espessas ou materiais com alta condutividade térmica como o cobre. Em relação ao argônio, a soldagem com hélio apresenta as seguintes características:

- maior consumo, já que se trata de um gás mais leve que o ar;
- maiores tensões de soldagem e maior energia de soldagem para uma mesma corrente e comprimento de arco;
- maior penetração do cordão de solda;
- custo muito mais elevado (custo do gás e maior vazão).

Em relação ao arco, as características dos gases são definidas pela curva tensão *versus* corrente, conforme a figura 16.

Figura 16 – Comportamento de argônio e hélio sobre tensão e corrente.



Fonte: Machado (1996).

A corrente de soldagem é uma das variáveis mais importantes do processo tendo uma forte influência na penetração da solda. Maiores correntes causam uma maior penetração permitindo a soldagem de chapas mais espessas ou um aumento na velocidade de soldagem. A tabela 4 mostra as características dos gases de proteção usado no processo TIG. A tabela 5 mostra condições típicas para a soldagem de aço carbono em juntas de topo com corrente contínua e eletrodo negativo. Já a tabela 6 apresenta condições típicas para a soldagem de alumínio com corrente alternada.

Tabela 4 – Características dos gases de proteção usados no processo TIG.

Tipo de liga	Gás e polaridade	Características
Aço de baixa liga	Argônio CCPD (-) Hélio CCPD (-)	Soldagem manual Soldagem automática
Aço inoxidável	Argônio CCPD (-) Hélio CCPD (-)	Arco estável e de fácil controle Grande penetração e razoável estabilidade do arco
Aço inoxidável endurecível por precipitação	Hélio CCPD (-)	Penetração na raiz mais uniforme; menor zona afetada pelo calor
Alumínio e ligas	Argônio (CA) Argônio + Hélio (CA) Hélio CCPD (-)	Estabilidade do arco e boa ação de limpeza. Arco menos estável; boa ação de limpeza; velocidade de soldagem elevada; grande penetração. Grande penetração; velocidade de soldagem elevada no material limpo quimicamente; soldagem automática.
Bronze-alumínio	Argônio CCPD (-)	Reduz penetração no metal base durante o processo de revestimento.
Bronze-silício	Argônio CCPD (-)	Diminui o efeito de fragilidade a quente.
Cobre desoxidado	Hélio CCPD (-) Hélio + 25% argônio CCPD (-)	Elevada energia de soldagem para contrabalancear a condutibilidade térmica do cobre Arco mais estável; energia de soldagem menor; adequado para chapas até 1,5 mm de espessura.
Cobre-níquel	Argônio CCPD (-)	Arco estável e de fácil controle.
Magnésio e ligas	Argônio (CA)	Arco estável e boa ação de limpeza.
Monel	Argônio CCPD (-)	Arco estável e de fácil controle.
Níquel e ligas	Argônio CCPD (-) Hélio CCPD (-)	Arco estável e de fácil controle. Soldagem automática com alta velocidade.
Titânio e ligas	Argônio CCPD (-) Hélio CCPD (-)	Arco estável e de fácil controle. Soldagem automática com alta velocidade.

Fonte: Emílio Wainer (1992).

Tabela 5 – Condições típicas de soldagem GTAW de aço carbono em juntas de topo(2). Posições: P – plana, H – horizontal, V – vertical e SC – sobre cabeça.

Espessura da Junta (mm):	1,6-3,2	3,2-6,4	6,4-12,7
Tipo de Junta:	Sem chanfro	V	Duplo V
Corrente, CC- (A):	50-100	70-120	90-150
Tensão (V):	12	12	12
Tipo de eletrodo:	EWTh-2	EWTh-2	EWTh-2
Diâmetro do eletrodo (mm):	2,4	2,4	3,2
Metal de adição (mm)	1,6-2,4	2,4-3,2	2,4-3,2
Gás de proteção:	Argônio	Argônio	Argônio
Vazão (l/min):	7-9	7-9	10-12
Tamanho do bocal (mm):	9,5 (3/8")	9,5 (3/8")	12,7 (1/2")
Distância máxima do bocal à peça (mm)	12,7	12,7	12,7
Temperatura mínima da peça	16°C	16°C	16°C
Tratamento térmico após soldagem:	Nenhum	Nenhum	Nenhum
Posições de Soldagem:	P, H, V, SC	P, H, V, SC	P, H, V, SC

Fonte: Quite (1995).

A queda de tensão no arco depende do tipo de corrente usada, do gás de proteção e, principalmente, do comprimento do arco. Este varia entre cerca de 1,5 e 5 mm dependendo das condições de acesso e de visibilidade da poça de fusão e do perfil desejado para o cordão de solda. Um maior comprimento de arco resulta em um cordão mais largo e de menor penetração

Tabela 6 – Condições típicas de soldagem GTAW de Al em juntas de topo com CA. Posições: P – plana, H – horizontal, V – vertical e SC – sobre cabeça.

Espes-sura (mm)	Preparação	Fresta (mm)	Posição de soldagem	Corrente (A)	Diâmetro do elet. (mm)	Vazão de Argônio (l/min)	Veloc. de Soldagem (cm/min)	Diâmetro da vareta (mm)	Número de passes
1,6	Sem chanfro	1,6	P, V, H	70-100	1,6-2,4	9	20-25	2,4	1
	Sem chanfro	1,6	SC	65-75	1,6	12	20-25	2,4	1
2,4	Sem chanfro	2,4	P	95-115	2,4-3,2	9	20-25	3,2	1
	Sem chanfro	2,4	V, H	95-110	2,4	9	20-25	2,4-3,2	1
	Sem chanfro	2,4	SC	90-110	2,4-3,2	12	20-25	2,4-3,2	1
3,2	Sem chanfro	3,2	P	125-150	3,2	9	25-30	3,2-4,0	1-2
	Sem chanfro	2,4	V, H	110-140	3,2	9	25	3,2	1-2
	Sem chanfro	2,4	SC	115-140	3,2	12	25-30	3,2-4,0	1-2
4,8	V – 60°	3,2	P	170-190	4,0-4,8	12	25-30	4,0-4,8	2
	V – 60°	2,4	V	160-175	4,0	12	25-30	4,0	2
	V – 90°	2,4	H	155-170	4,0	12	25-30	4,0	2
	V – 110°	2,4	O	165-180	4,0	14	25-30	4,0	2
6,4	V – 60°	3,2	P	220-275	4,8-6,4	14	20-25	4,8-6,4	2
	V – 60°	2,4	V	200-240	4,8	14	20-25	4,8	2
	V – 90°	2,4	H	190-225	4,0-4,8	14	20-25	4,0-4,8	2-3
	V – 110°	2,4	O	210-250	4,8	17	20-25	4,8	2
9,5	V – 60°	3,2	P	315-375	6,4	17	20-25	4,8-6,4	2
	Duplo V – 90°	2,4	P	340-380	6,4	17	20-25	4,8-6,4	2
	V – 60°	2,4	V	260-300	4,8-6,4	17	20-25	4,8	3
	Duplo V – 90°	2,4	V, H, SC	240-300	4,8-6,4	17	20-25	4,8	2
	V – 90°	2,4	H	240-300	4,8-6,4	17	20-25	4,8	3
	V – 110°	2,4	O	260-300	4,8-6,4	19	20-25	4,8	3

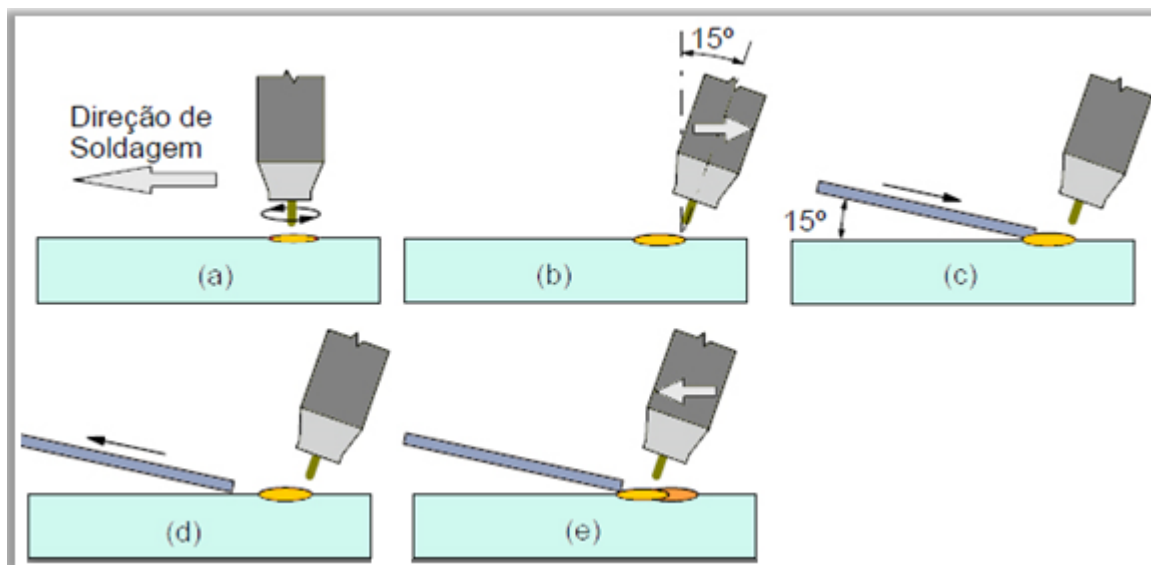
Fonte: Wainer (1992).

2.1.8 Técnicas de soldagem

2.1.8.1 Soldagem Manual

O processo manual de soldagem TIG é considerado um dos mais difíceis de todos os processos comuns utilizados pela indústria, devido à necessidade de destreza do operador para manter um pequeno arco e prevenir que o eletrodo não encoste na peça de trabalho. A utilização de duas mãos dificulta ainda mais o processo (uma das mãos segura a tocha de soldagem; a outra, o arame do metal de adição). O gás de proteção utilizado é o argônio, mas também pode ser o hélio ou ainda a mistura dos dois. A figura 17 apresenta um exemplo de soldagem manual.

Figura 17 – Técnica para a soldagem GTAW manual com metal de adição: (a) desenvolvimento da poça de fusão; (b) recuo da tocha; (c) adição de material; (d) afastamento da vareta; (e) avanço da tocha conduzindo a poça de fusão.



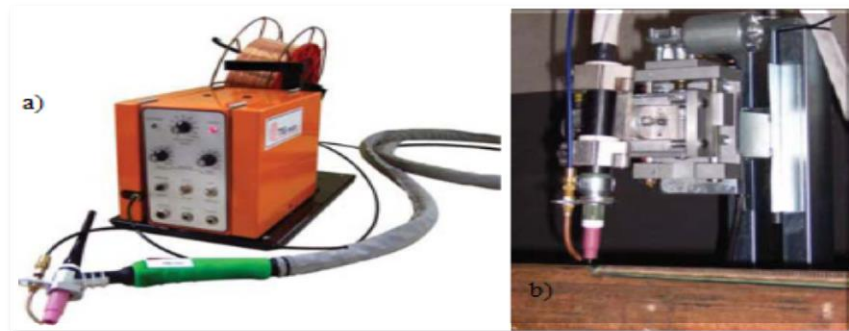
Fonte: Wainer (1992).

2.1.8.2 Soldagem Mecanizada

A soldagem mecanizada é feita através de um equipamento que produz a solda com a constante supervisão e controle do operador de solda. Os maiores custos deste processo têm de ser compensados pela maior produtividade e qualidade obtidas. Os processos ocorrem como um controle aberto, de forma que os níveis pré-ajustados sejam mantidos durante o processo sem realimentação ou ajuste.

Vários equipamentos ou sistemas auxiliares podem ser usados para facilitar ou mecanizar a operação de soldagem como: posicionadores, dispositivos de deslocamento, controladores automáticos de comprimento de arco, alimentadores de arame, osciladores do arco de soldagem, temporizadores e outros. As figuras 18a e 18b ilustram o alimentador e o posicionador utilizados no processo TIG.

Figura 18 – a) Alimentador de arame e tocha TIG Cole Wire. b) Dispositivo posicionador de tocha com mecanismo oscilador.



Fonte: Rodrigues (1999).

2.1.8.3 Soldagem Semiautomática

A soldagem semiautomática é definida como a soldagem na qual o único parâmetro automaticamente a ser controlado é a alimentação do arame de adição, sendo o avanço da tocha realizado manualmente.

2.1.8.4 Soldagem Automática

A soldagem com equipamentos que auto ajustam o processo sem a interferência de um operador é designada soldagem automática. Algumas máquinas modernas deste tipo fazem correções nas variáveis de soldagem baseadas em informações obtidas durante o próprio processo.

2.1.9 Vantagens do Processo TIG

O processo TIG é utilizado na soldagem de juntas e chapas, bastante utilizado na indústria petroquímica, aeroespacial, nuclear, automotiva e em trabalhos de reparação. Veja abaixo as principais vantagens deste processo:

- solda todos os metais;
- bom controle da penetração;
- utiliza corrente alternada (AC) e corrente contínua (DC) em função do material;

- solda em todas as posições;
- tem boa acessibilidade, pode ser automatização;
- possui baixos níveis de hidrogênio;
- não possui escória; Produz soldas de qualidade superior, geralmente, livre de defeitos;
- está livre de respingos que ocorrem em outros processos a arco;
- pode ser utilizado com ou sem material de adição;
- permite excelente controle na penetração do passe de raiz;
- pode produzir excelente solda autógena (solda sem adição de material);

2.1.10 Desvantagens do Processo TIG

O processo TIG apresenta excelente aceitação no mercado, mas devido algumas restrições apresenta as desvantagens citadas abaixo:

- ✓ limitado a espessuras baixas de aproximadamente, 10 mm;
- ✓ apresenta baixo rendimento quando utilizado para soldar espessuras altas;
- ✓ risco de inclusões de tungstênio;
- ✓ exige boa competência do soldador;
- ✓ grande sensibilidade às correntes de ar;
- ✓ custos alto dos gases de proteção.

2.1.1.1 Métodos de Iniciação do Arco

- Toque do Eletrodo na Peça

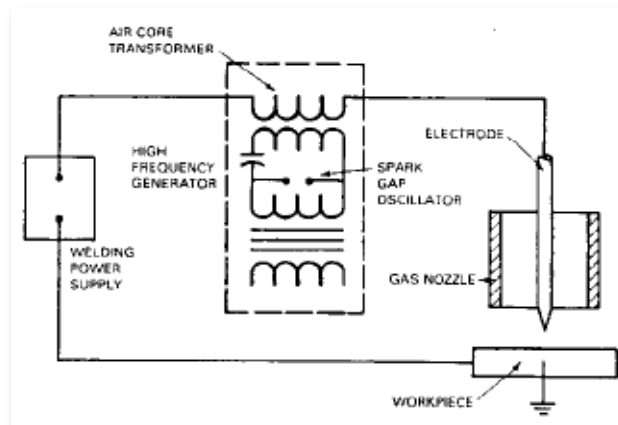
O método mais simples de iniciação do arco, apesar de extremamente simples, não é recomendado, pois ao tocar a peça o eletrodo pode contaminá-la e danificar-se.

- Fonte de Alta Frequência

Este método fornece uma alta tensão com alta frequência em série ao circuito de soldagem para ionizar o gás, permitir a abertura do arco e poder ou não trabalhar com uma corrente igual à corrente de soldagem. Este método tem o

inconveniente de gerar grande quantidade de distúrbios para a rede de alimentação elétrica, conforme figura 19.

Figura 19 – Fonte de alta frequência



Fonte: Rodrigues (1999).

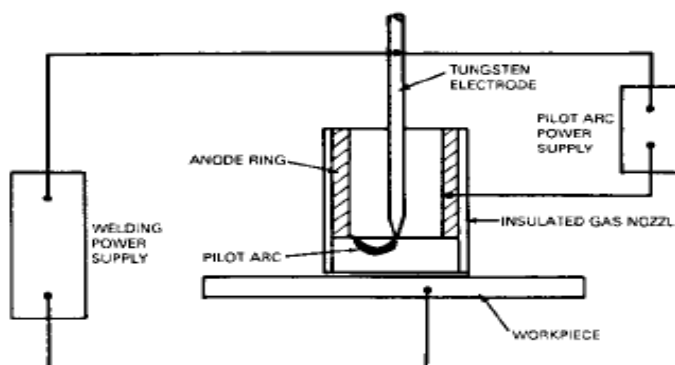
- Partida Pulsada

Este método também pode ser utilizado, sendo obtido através de pulsos de alta tensão que ionizam o gás e permitem a abertura do arco, trabalhando, via de regra, com correntes iguais às de soldagem.

- Arco Piloto

Este método pode ser utilizado com fontes de CC mantendo-se um arco entre o eletrodo e o bocal da tocha. Este arco piloto ioniza o gás necessário para estabelecer o arco. O arco piloto é alimentado por uma pequena fonte e é iniciado por alta frequência, conforme figura 20.

Figura – 20 Representação de arco piloto



Fonte: Rodrigues (1999).

2.1.12 Técnica Operatória

De acordo com Wainer (1992), antes da soldagem, pratica-se remoção de óleo, graxas, sujeira, tinta, ferrugem ou outras contaminações existentes no metal de base por meios mecânicos (lixamento, escovamento, etc.) ou químicos (decapagem, lavagem, etc.), usando agentes líquidos ou gasosos.

É recomendável que se inicie a vazão de gás inerte alguns segundos antes da abertura do arco (“pré-purga”). Decorrido este tempo, faz-se abertura do arco, usando-se um ignitor de alta frequência ou outro meio. A seguir, deixa-se a tocha parada por um certo tempo para que haja a formação da poça de fusão. Quando esta atinge um volume ou tamanho adequado, inicia-se o movimento de translação ao longo da junta e, se for o caso, o movimento de tecimento e a adição de metal.

A adição de metal é feita na poça de fusão à frente da tocha de soldagem, em um ângulo em torno de 15° com a peça. Deve-se ter o cuidado de não se retirar a ponta aquecida da vareta da nuvem protetora de gás inerte para evitar contaminação. A adição de metal pode ser contínua ou intermitente.

Ao final da junta, faz-se a extinção do arco, interrompendo-se a passagem de corrente. Com a tocha ainda em posição, deixa-se que ocorra fluxo de gás inerte por certo tempo (“pós-purga”). O arco pode ser extinto pelo afastamento da tocha a alguns centímetros da peça, o que não é recomendado, pois possibilita a contaminação do final do cordão pela atmosfera. Este problema pode ser contornado extinguindo-se o arco fora da região de interesse ou fora da junta.

A posição da tocha na soldagem mecanizada é perpendicular ao plano da peça que está sendo soldada. Na soldagem manual, a tocha pode ser ligeiramente inclinada em relação à direção de soldagem para facilitar a visão do soldador. Na soldagem em juntas de ângulo formando “quinas”, peças auxiliares podem ser usadas para formar um anteparo e favorecer a proteção gasosa.

Na soldagem com corrente contínua, o ignitor de alta frequência é usado apenas para a abertura de arco. Na soldagem com corrente alternada com uma fonte convencional, o ignitor de alta frequência deve permanecer ligado durante toda a operação, a fim de estabilizar a descarga elétrica, já que o arco se extingue a cada inversão de polaridade.

De acordo com Machado (1996), na soldagem com corrente alternada com uma fonte eletrônica, a mudança de polaridade dá-se num tempo muito curto e, em geral, não há necessidade de uso de dispositivos para reabertura do arco a cada inversão. O sinal de alta frequência gerado pelo ignitor pode interferir na operação de circuitos eletrônicos que estejam próximos.

As principais variáveis operatórias da soldagem TIG são o comprimento do arco, a corrente, a velocidade de soldagem e a vazão de gás de proteção.

O comprimento do arco é a distância entre a ponta do eletrodo e a peça de trabalho. A tensão do arco aumenta com o aumento deste. Quanto maior o comprimento do arco, mais raso e largo é o cordão de solda. Na soldagem com adição, também o reforço do cordão tende a diminuir com o aumento do comprimento do arco. Arcos muito curtos ou muito longos tendem a ser instáveis, favorecendo a formação de descontinuidades. A corrente de soldagem é selecionada e ajustada diretamente na fonte de energia. Quanto maior a corrente, maiores são a penetração e a largura do cordão. Para outros parâmetros constantes, o reforço do cordão tende a diminuir com o aumento da corrente, no caso de soldas com adição de metal. A geometria do cordão de solda varia com o tipo de corrente usada.

De acordo com Wainer (1992), o efeito de limpeza consiste na remoção de camadas superficiais de óxidos do metal de base pela ação do arco elétrico, quando o eletrodo é positivo. Na soldagem de metais fortemente reativos, como Al, Mg e Ti, este tipo de corrente e polaridade seriam bastante vantajosos, mas o

balanço térmico é muito desfavorável e eles somente são usados na soldagem de peças muito finas.

Uma situação intermediária é obtida na soldagem com corrente alternada quando ocorre a remoção de óxidos a cada semiciclo de corrente em que o eletrodo é positivo.

Velocidade de soldagem alta obtém penetração, largura e reforço baixos. Velocidades exageradas podem introduzir descontinuidades no cordão, como falta de fusão, falta de penetração e mordeduras.

Vazões de gás muito baixas resultam em proteção insuficiente (oxidação do cordão de solda, formação de porosidades, etc.) e vazões elevadas encarecem muito o custo da operação. Vazões muito elevadas podem causar turbulência no fluxo de gás, resultando em efeitos semelhantes aos de vazão muito baixa.

A válvula do cilindro está aberta onde o manômetro do lado direito mostra a pressão de gás que está dentro do cilindro com 45 kg/cm². Já o manômetro esquerdo mostra a regulagem da vazão de gás com 7 litros por minuto, conforme figura 21.

Figura 21 – Manômetro apresentando vazão e pressão no cilindro.



Fonte: DBC oxigênio (2012)

Para se chegar à vazão ideal, deve-se fazer um teste, iniciando com uma vazão elevada e diminuir gradativamente, até que se inicie a oxidação superficial do cordão de solda. Uma vazão ligeiramente superior a esta é a ideal.

Outras variáveis operatórias na soldagem TIG com influência secundária dentro de certos limites são o ângulo da ponta do eletrodo, a distância do bocal à peça e os tempos de pré e pós-purga de gás.

Na soldagem mecanizada, a posição e a velocidade de alimentação de metal podem se tornar parâmetros importantes. Velocidades de alimentação elevadas podem levar a um reforço excessivo do cordão de solda e até mesmo a uma fusão apenas parcial do metal de adição. Se a alimentação de metal for feita no arco de soldagem ao invés de ser feita na poça de fusão, a transferência de metal para a peça se torna muito irregular, podendo causar instabilidade no arco e tornar o cordão irregular.

A escolha dos parâmetros para uma dada operação de soldagem é feita em função do material a ser soldado, da espessura das peças, da posição de soldagem e dos equipamentos disponíveis, bem como a decisão de uso ou não de metal de adição.

2.2 DESCONTINUIDADES E DEFEITOS EM SOLDAS

2.2.1 Diferenças entre Descontinuidades e Defeitos em Soldas

O termo descontinuidade denota a interrupção das estruturas típicas de uma peça, no que se refere à homogeneidade de características físicas, mecânicas ou metalúrgicas. Não é necessariamente um defeito. A descontinuidade só deve ser considerada defeito, quando, por sua natureza, dimensões ou efeito acumulado, tornarem a peça inaceitável, por não satisfazer os requisitos mínimos da norma técnica aplicável.

2.2.2 Classificações das Descontinuidades

As descontinuidades, contudo, não devem, necessariamente, ser atreladas, rigorosamente, a uma única categoria, visto que as mesmas podem apresentar origens secundárias em outras categorias. Outro fator importante a ser considerado é a dimensão da descontinuidade, isto é, se a mesma tem característica bidimensional (planar) ou tridimensional (volumétrica).

De acordo com Lundin e Patriarca (1986), descontinuidades planares como trincas e falta de fusão, geralmente, produzem uma maior amplificação da tensão imposta (efeito de concentração) do que as descontinuidades com características volumétricas (porosidade, por exemplo). Além disso, a orientação da descontinuidade em relação ao esforço também é outro fator a ser cuidadosamente analisado, visto que aquelas orientadas na direção da solitação tendem a ser mais detrimenais em comparação com outras com diferente orientação.

Em função da localização das descontinuidades em regiões de difícil acesso e, normalmente, com níveis amplificados de tensão, torna-se difícil uma análise mais apurada. Somando-se a isso, o processo de ciclagem térmica (aquecimento e resfriamento) originado pela operação de soldagem produz um estado local de tensão (tensão residual – regiões tracionadas e regiões comprimidas) que provoca o aumento da tensão final imposta nestas regiões. Segundo a ASME (1986), as falhas em regiões soldadas podem ser divididas em duas classes: as rejeitadas após inspeção e ensaios mecânicos e as descobertas em serviço.

2.2.3 Estudo dos Principais Defeitos ou Descontinuidades presentes no Processo de Soldagem TIG

A seguir serão abordadas as características de formação, as causas e o meio de controle dos principais defeitos ou descontinuidades (porosidade, falta de fusão, mordedura, falta de penetração, trinca, concavidade.) que ocorrem nas soldas quando se utiliza o processo de soldagem TIG.

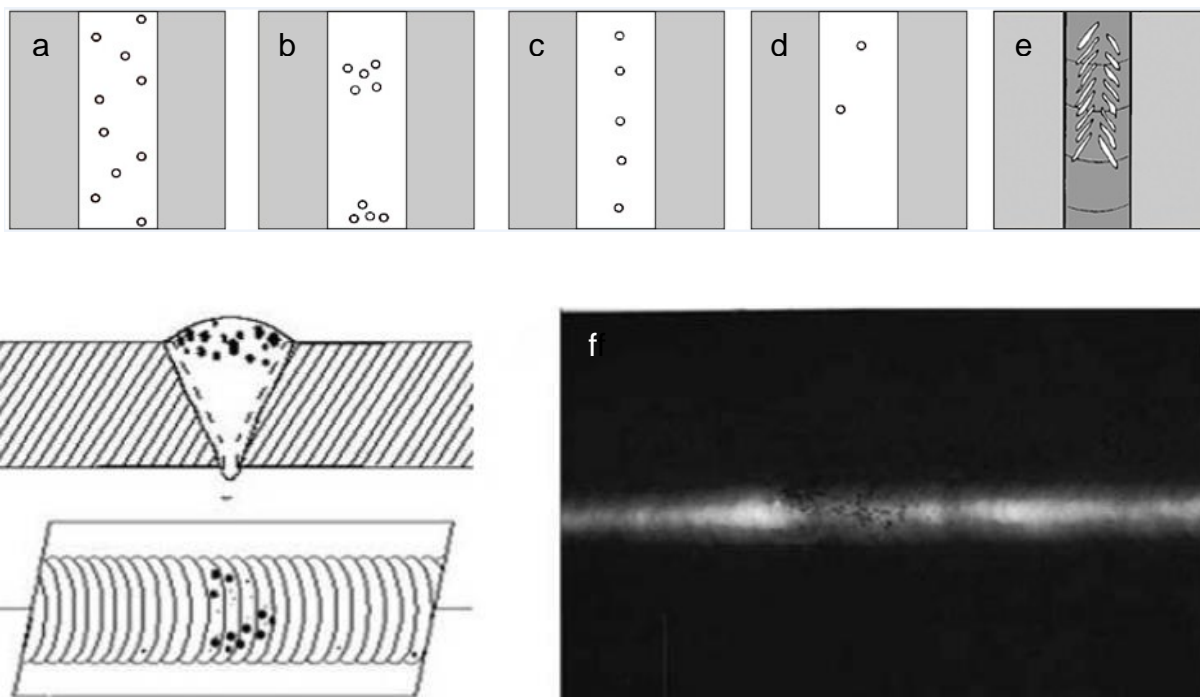
2.2.3.1 Porosidade

São descontinuidades originadas no metal de solda em função do aprisionamento de gases ou vapores dissolvidos na poça de fusão durante o processo de solidificação. Este aprisionamento resulta do decréscimo na solubilidade dos gases na poça de fusão durante o abaixamento da temperatura ou ainda de reações químicas no metal de solda. Estas descontinuidades são consideradas detrimenais quando ultrapassam valores propostos em normas, como a ASME B 31.3 /2010, por servirem como redutores da área útil resistente. Além disso, porosidade aberta, aflorando à superfície, exerce um efeito de concentrador de tensão.

a) Características

Os poros se classificam de acordo com a forma que se apresentam na imagem radiográfica, podendo ser: Uniformemente distribuído, agrupado, alinhado, vermicular e esférico. A Figura 22 representa uma radiografia esquemática dos tipos de poros e uma imagem radiográfica de uma solda contendo um grupo de poros.

Figura 22 – Esquema dos tipos de poros. a) distribuído; b) agrupado; c) alinhado; d) isolado; e) vermicular f) representação de uma solda com porosidade em um filme radiográfico.



Fonte: Almir Quintino (2009).

Mecanismo de formação

Conforme Svensson (1994) e Marques (1995), o mecanismo de formação de um poro se baseia na relação velocidade da frente de solidificação *versus* taxa de separação dos gases/vapores dissolvidos na poça de fusão. Caso a velocidade da frente de solidificação seja maior do que a velocidade de despreendimento dos gases/vapores (velocidade de soldagem alta), o poro formado terá a forma esférica. Por outro lado, se a velocidade da frente for igual à de despreendimento (velocidade de soldagem média), o poro terá a forma vermicular. Não haverá formação de poro quando a velocidade da frente for inferior a de despreendimento (velocidade de soldagem lenta). Uma das condições para o surgimento de porosidade é a presença de supersaturação total ou localizada de gás na poça de fusão.

Os gases que causam porosidade são o hidrogênio, o nitrogênio e o dióxido de carbono. O hidrogênio tem origem na umidade presente no consumível ou no metal de base. Para o nitrogênio, a origem vem da captação do ar vizinho ao arco voltaico. No caso do dióxido de carbono, a origem está na combinação de O₂ e metal de base em aço não acalmado.

b) Fatores Metalúrgicos Influentes na Formação da Porosidade

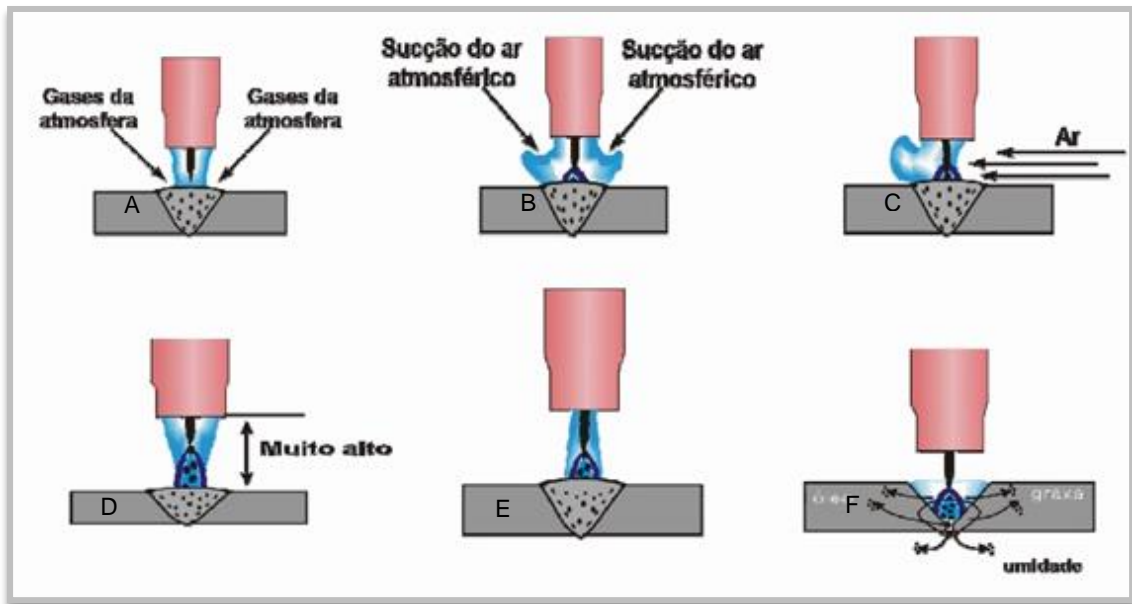
- Composição química do metal de base (presença de elementos formadores de porosidade como óxidos e microporos oriunda do processo de conformação mecânica);
- composição química do revestimento e/ou gás de proteção;
- insuficiência de elementos desoxidantes no metal de adição e no metal de base.

c) Fatores Operacionais Influentes na Formação da Porosidade

- Procedimento inadequado de soldagem (comprimento do arco, deslocamento lateral do arco, tecimento, infiltração de ar ou água por falha de manutenção, condição inadequada de estocagem dos consumíveis e outros);
- instabilidade na coluna do arco provocado pela utilização de parâmetros inadequados de soldagem (corrente e tensão fora da faixa especificada, fluxo de gás fora do especificado);
- limpeza da região a ser soldada.

A figura 23, de a até f, apresenta algumas ilustrações que provocam porosidade durante a execução operacional.

Figura 23 – a) gás insuficiente para proteção da poça de fusão; b) turbilhonamento de gás ou gás excessivo na proteção da poça de fusão; c) corrente de ar atmosférico na zona de soldagem; d) bocal muito afastado da zona de soldagem; e) bocal pequeno; f) impureza no material de base e penetração de água na zona de soldagem.



Fonte: Wainer (1995)

e) Influência sobre outras discontinuidades

Geralmente, a porosidade apresenta uma relação direta com a formação de trincas de cratera, isto é, microporos entre os ramos dendríticos na região da cratera atuam como sítios preferenciais à nucleação de trinca.

a) Meios de controle

Basicamente, o controle para este tipo de discontinuidade se resume em:

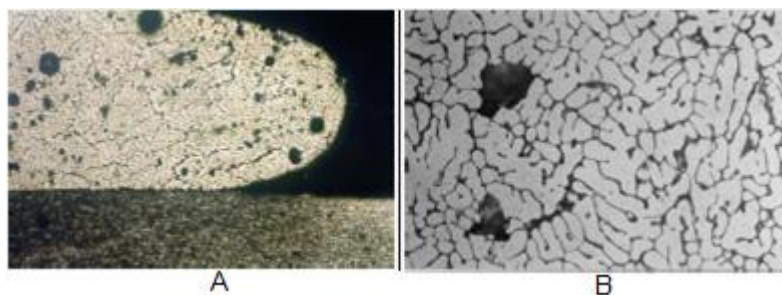
- limpeza adequada da região a ser soldada;
- armazenamento adequado dos consumíveis (controle de umidade);
- cuidado especial na soldagem de metal de base com microporos decorrentes do processo de laminação (utilização de amanteigamento se necessário);
- eliminação de vazamentos no sistema de refrigeração;

- cuidado especial no controle da cratera (uso de chapa apêndice e/ou uso de rampa de corrente em conjunto com a manipulação adequada do eletrodo – passe à ré);
- controle da composição química do metal de base e do consumível.

b) Exemplos práticos

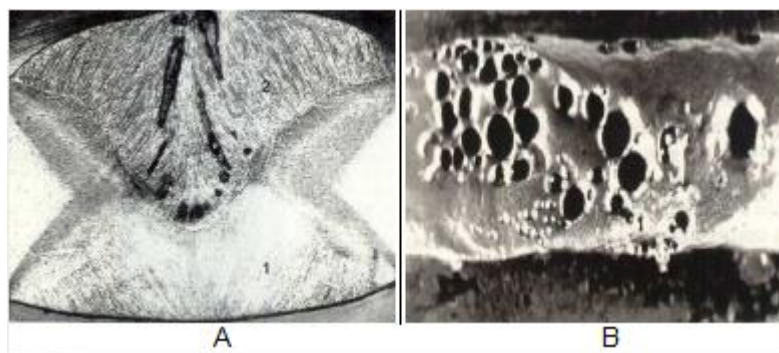
Como forma de exemplificar o mecanismo de formação bem como o aspecto e as localizações deste tipo de descontinuidade, nas figuras 24 e 25, são mostradas algumas macro e micrografias de regiões soldadas apresentando as suas diversas formas.

Figura 24 – A) Micrografia mostrando a presença de porosidade na forma esférica num cordão de solda em AISI 304. B) Microporosidade entre os ramos dendríticos no mesmo cordão.



Fonte: BARRA (1999).

Figura 25 – A) Porosidade vermicular com direção de crescimento da raiz para o reforço. B) Porosidade agrupada.



Fonte: Svensson (1994) e Marques (1995).

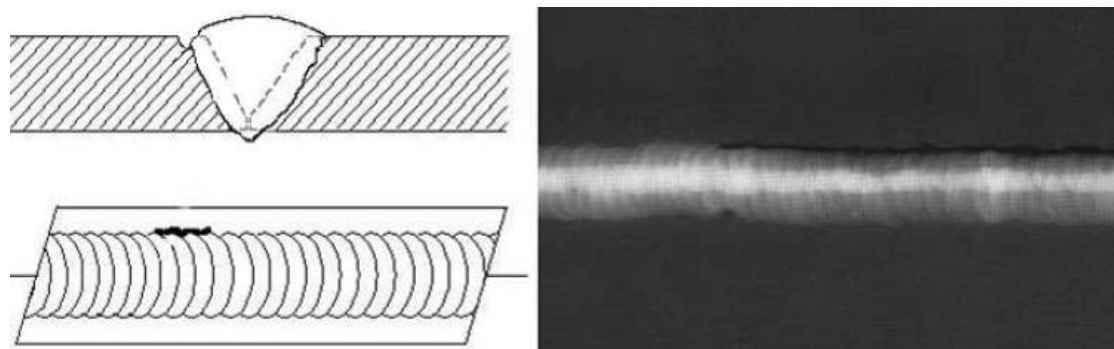
2.2.3.2 Mordeduras

Conforme Marqueze (1995), mordeduras são descontinuidades em forma de depressão que geram um entalhe entre o metal de base e o cordão de solda. A existência de mordeduras significa uma redução da seção resistente e, conseqüentemente, um enfraquecimento da junta soldada. Em uma junta submetida a tensões de fadiga, a presença de mordeduras serve como pontos iniciais de ruptura, por ser um concentrador de tensão.

a) Localização

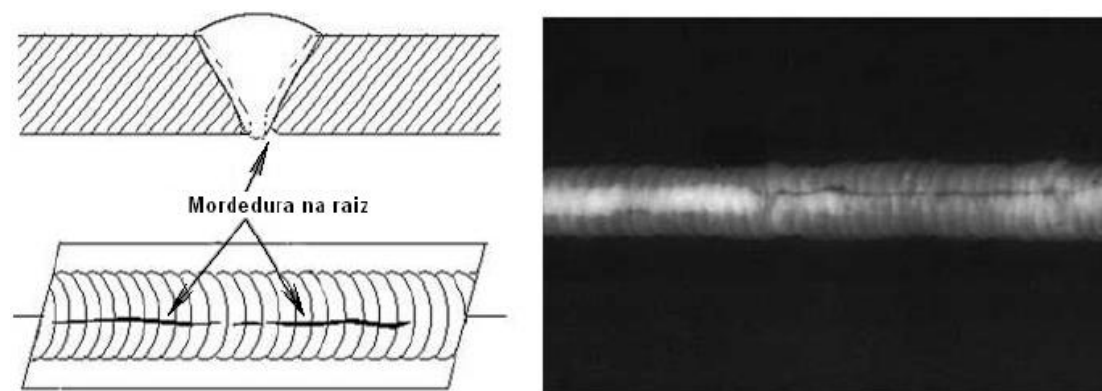
As mordeduras podem ocorrer só de um lado do cordão ou nas duas laterais. Podem, ainda, ser contínuas ou somente em alguns trechos. As figuras 26 e 26A apresentam, através de uma imagem radiográfica, mordeduras na face superior do cordão e na raiz, respectivamente.

Figura 26 – Mordedura na margem da solda.



Fonte: Almir Quites 2009 Inspeção de Juntas soldadas por Radiografia.

Figura 26A – Mordedura na raiz da solda.



Fonte: Almir Quites 2009 Inspeção de Juntas soldadas por Radiografia.

O mecanismo de formação acontece quando o metal de base se funde pela ação do arco voltaico para a parte interna, formando uma grande depressão, motivado pelo alto aporte térmico. Por outro lado, se o metal de adição não for suficiente para encher a cavidade até o nível em que o metal de base fundiu, ocorrerá reentrância no metal de base adjacente ao passe.

b) Causas

As principais causas de ocorrência de mordeduras são:

- corrente de soldagem excessivamente alta;
- velocidade de soldagem excessivamente alta;
- comprimento do arco excessivo;
- manipulação incorreta do eletrodo (tocha), não permitindo o preenchimento da depressão formada pela fusão do metal de base;
- sopro magnético.

Os três primeiros itens estão relacionados ao aporte térmico imposto pela operação de soldagem, conseqüentemente, a causa principal das mordeduras é um alto aporte térmico.

c) Métodos de correção

Quando as mordeduras atingirem níveis inaceitáveis, deve-se corrigir toda a região defeituosa por esmerilhamento ou por deposição de material.

2.2.3.3 Falta de Fusão

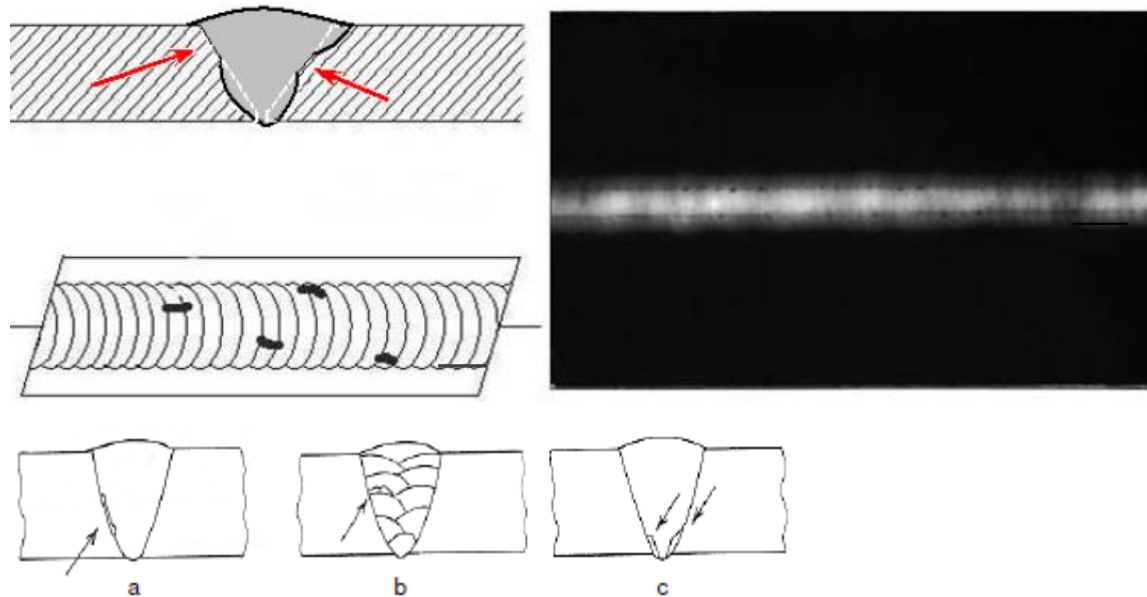
De acordo com a norma ASME, esta descontinuidade caracteriza-se por uma falta de fusão localizada, isto é, uma ausência de continuidade metalúrgica entre o metal depositado e o metal de base ou entre dois cordões adjacentes. A falta de fusão atua como um concentrador de tensão severo, podendo facilitar a nucleação e a propagação de trincas. Além disso, pode reduzir a seção efetiva da junta.

a) Localização

A falta de fusão pode aparecer na solda em locais diferentes, como:

- ✓ na região da linha de fusão (figura 27a);
- ✓ entre os passes (figura 27b);
- ✓ na raiz da solda (figura 27c).

Figura 27 – Localizações comuns para a ocorrência de falta de fusão.



Fonte: (ASME B31.3).

b) Mecanismo de formação

Resulta do aquecimento não adequado do metal que está presente na junta soldada (falta de molhabilidade) e/ou da presença de camadas de óxidos.

c) Causas da ocorrência da falta de fusão

- ✓ Limpeza insuficiente das bordas da junta (eliminando óxidos, tintas e óleos);
- ✓ manipulação incorreta do eletrodo (tocha);
- ✓ desvio do arco por efeito do sopro magnético;
- ✓ aporte térmico muito baixo com a impossibilidade do arco atingir certas regiões da junta.

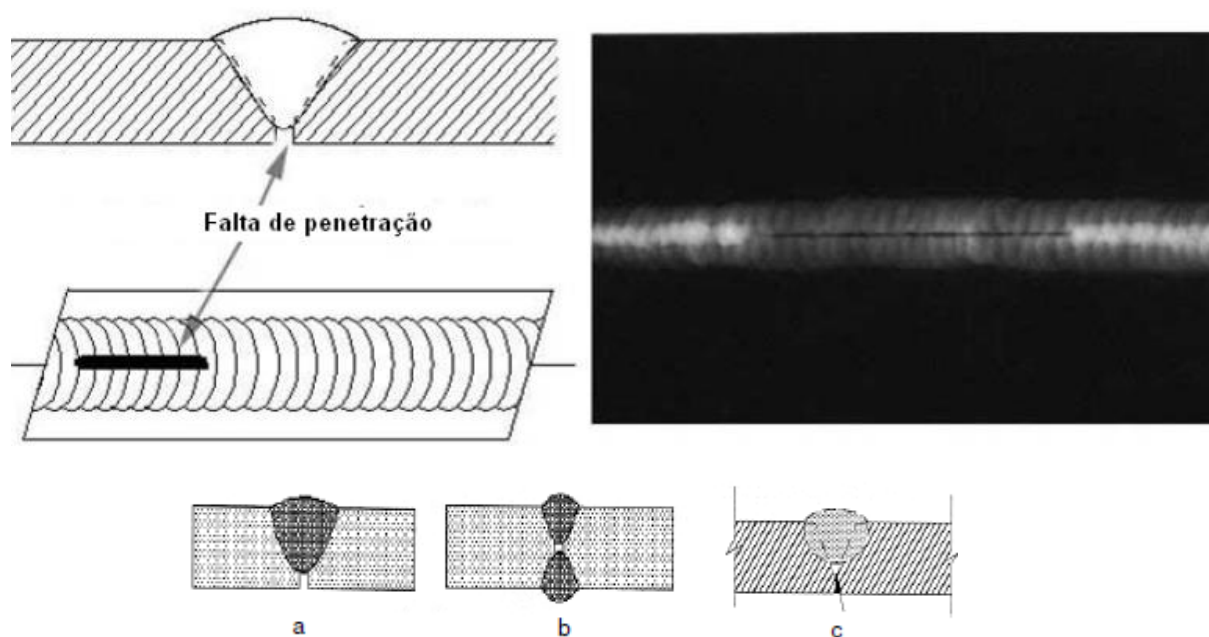
2.2.3.4 Falta de Penetração

Conforme Port (1991), a falta de penetração é uma descontinuidade que ocorre na raiz de uma junta soldada em decorrência da impossibilidade de fundir e preencher completamente a raiz da junta. A falta de penetração atua como um grande concentrador de tensão, podendo facilitar a nucleação e propagação de trincas. Além disso, pode reduzir a seção efetiva da junta.

a) Localização

A localização desta descontinuidade sempre aparece na raiz da junta soldada, como mostram a figura 28, itens a, b e c.

Figura 28 – Apresenta falta de penetração na raiz nos formatos a, b, c.



Fonte: Marqueze (1995).

b) Mecanismo de formação

O mecanismo de formação está diretamente relacionado a problemas de projeto inadequado da junta e à aplicação de parâmetros incorretos não conforme o procedimento de soldagem. soldas em juntas com estas características apresentam dificuldade para penetrar o metal líquido na região da raiz.

c) Causas da ocorrência da falta de penetração:

Dentre as causas principais citam-se:

- manipulação incorreta do eletrodo ou tocha;
- junta mal projetada;
- diâmetro do eletrodo excessivo;
- corrente de soldagem insuficiente;
- velocidade de soldagem muito alta.

d) Métodos de correção

Quando a falta de penetração for considerada inaceitável, deve-se corrigir a região defeituosa através de deposição de material. Deve-se ressaltar que muitas juntas são projetadas para serem soldadas com penetração parcial.

e) Exemplos práticos de ocorrência de outros defeitos em função da falta de penetração

Como forma de ilustrar a teoria que envolve a falta de penetração, são apresentadas macrografias nas figuras 29 e 30 de regiões soldadas com esse tipo de descontinuidade.

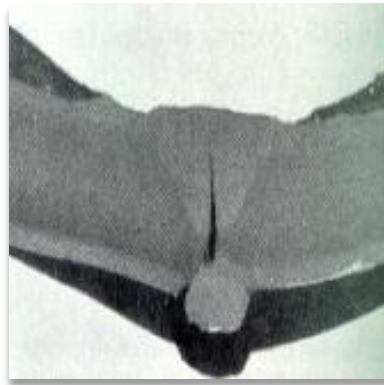
Figura 29 – Falta de penetração na raiz de uma solda de topo em uma linha de alimentação de água de caldeira.



Fonte: Port (1991).

A concentração de NaOH (hidróxido de sódio) na fresta resultou da nucleação de trincas por corrosão sobtensão cáustica. Observam-se finas trincas propagando-se a partir da fresta.

Figura 30 – Falta de penetração na junta circunferencial de uma solda de topo.



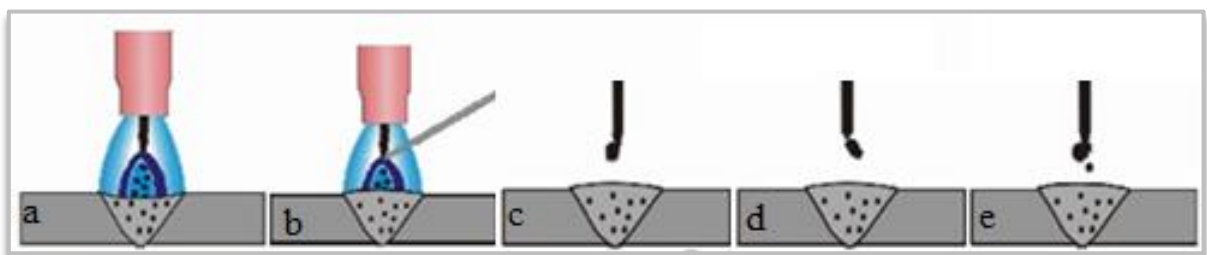
Fonte: Port.(1991)

2.2.3.5 Inclusão de Tungstênio

Este tipo de inclusão ocorre na soldagem com o processo TIG, onde há transferência de partículas de tungstênio para o interior da solda através das seguintes causas predominantes:

- contato do eletrodo não consumível de tungstênio com a poça de fusão, material de base ou vareta;
- sobrecarga no eletrodo ligado em polaridade positiva em corrente alternada ;
- contaminação em especial na abertura do arco sem ignitor de alta frequência.

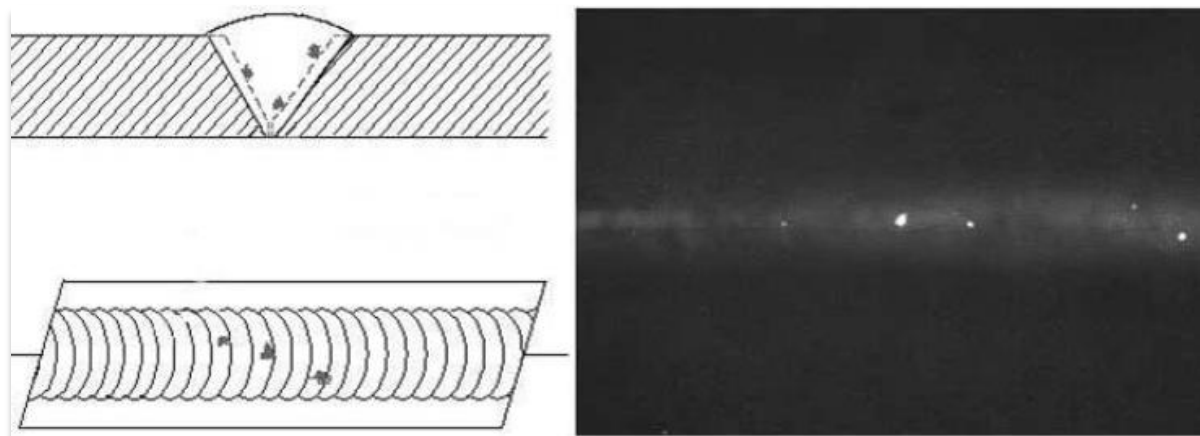
Figura 31 – Apresenta formas de contaminação por tungstênio, a) eletrodo toca na poça de fusão, b) eletrodo toca na vareta, c) sobrecarga no eletrodo, d) sobrecarga no eletrodo, e) abertura de arco sem alta frequência.



Fonte: Wainer (1995)

Na figura 32 demonstra-se a representação das inclusões de tungstênio contidas no interior da solda.

Figura 32 – Apresentação de inclusão de tungstênio após radiografia de uma solda.



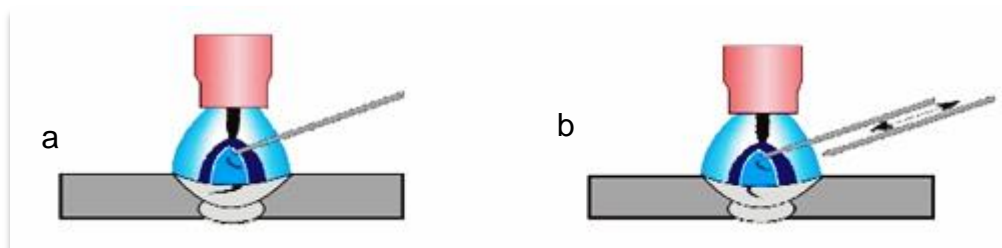
Fonte: Wainer (1995).

2.2.3.6 Inclusão de Óxido

Causas

Vareta oxidada, limpeza inadequada entre chanfros, retirada da vareta aquecida da zona de proteção predominantes durante o movimento de alimentação conforme figura 33.

Figura 33 – Causa de inclusão de óxido: a) vareta oxidada ou limpeza entre chanfros inadequada; b) retirada da vareta aquecida da zona de fusão.



Fonte: Wainer (1995).

2..2.3.7 Trinca em Material Fundido Envelhecido:

a) Causas

As peças fundidas envelhecidas possuem altos níveis de carburização. O fenômeno da carburização é um mecanismo de envelhecimento do material em altas temperaturas que é caracterizado pela penetração de carbonetos na matriz da liga.

O aumento da concentração de carbonetos na superfície interna do tubo aumenta a fragilidade do material, diminuindo consideravelmente a soldabilidade, principalmente quando as peças são fundidas estáticas. A figura 34 apresenta trinca na ZTA com essa característica.

Figura 34 – a) Trincas durante execução do passe de raiz. b) Trinca na ZTA do Tetrafitting de um forno durante a soldagem de tubo novo com tubo envelhecido.



Fonte: Quebrando paradigmas nos fornos de pirólises Braskem (2013)

b) Controle de Trinca em Material Envelhecido

O controle da trinca em material envelhecido, consiste nas etapas descritas abaixo:

- ✓ Modificação do bisel

A modificação da preparação do bisel permite que a diluição dos carbonetos residuais seja minimizada, devido à maior remoção da área carburizada antes do

amanteigamento. Além disso, possibilita uma maior área para preenchimento do consumível de amanteigamento (ER NiCr3) na região de maior carburização, a raiz.

A região da superfície externa do tubo está sujeita à nitretação; portanto, desta também deve ser removida uma espessura de 1,5 mm numa extensão de 25mm. Os detalhes da modificação do bisel podem ser observados na figura 39.

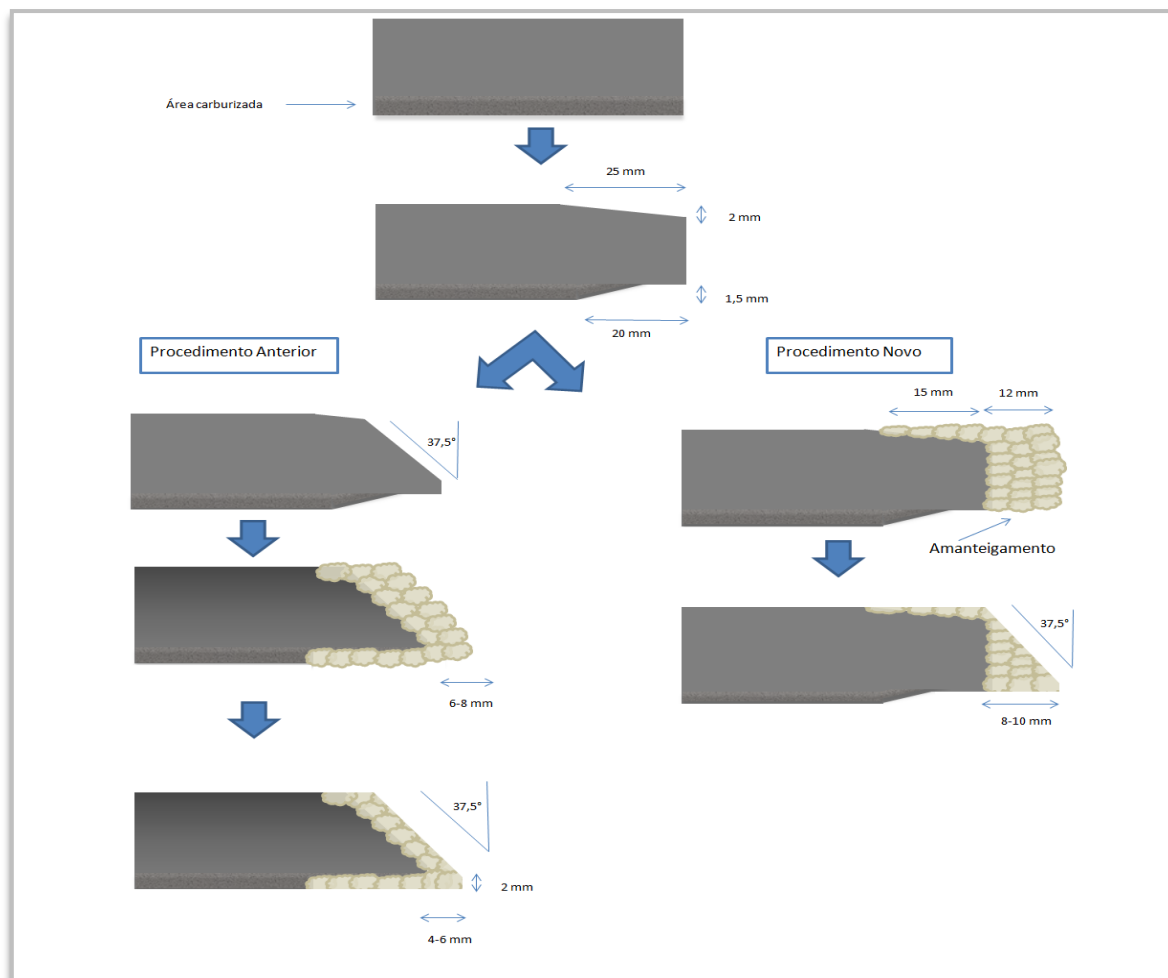
✓ Modificação do procedimento de amanteigamento

O amanteigamento consiste na soldagem de uma camada intermediária de metal de maior tenacidade, que tem como principal função atenuar as tensões de solidificação geradas durante a soldagem das peças novas com as envelhecidas.

Os passes de amanteigamento são realizados com temperatura interpasse controlada (temperaturas entre 80°C e 100°C) com os passes “filetados”, ou seja, a largura do cordão não superior a 1,5 vez o diâmetro da vareta (2,4 mm), garantindo assim menores aportes térmicos.

De acordo com o projetista Lummus e com a validação do fabricante, verificou-se que sempre há uma sobre espessura de fabricação; portanto, não há a necessidade de realizar a soldagem de amanteigamento na região interna da tubulação envelhecida, diminuindo o aporte térmico nesta região. A sobre espessura determinada para o amanteigamento na região da raiz deverá ser de 8 a 10 mm, conforme a figura 35.

Figura 35 – Novo procedimento para biselamento/amanteigamento aplicado na soldagem dos tetrafitings envelhecidos.



Fonte: Quebrando paradigmas nos fornos de pirólises Braskem (2013).

✓ Controle de temperatura interpasse na raiz e no enchimento

As temperaturas interpasse de raiz e de enchimento deverão ser mantidas entre 80°C e 100°C, sendo determinado que a etapa de enchimento seja executada imediatamente à finalização da raiz (respeitando as temperaturas de interpasse), mantendo os passes de enchimento também filetados.

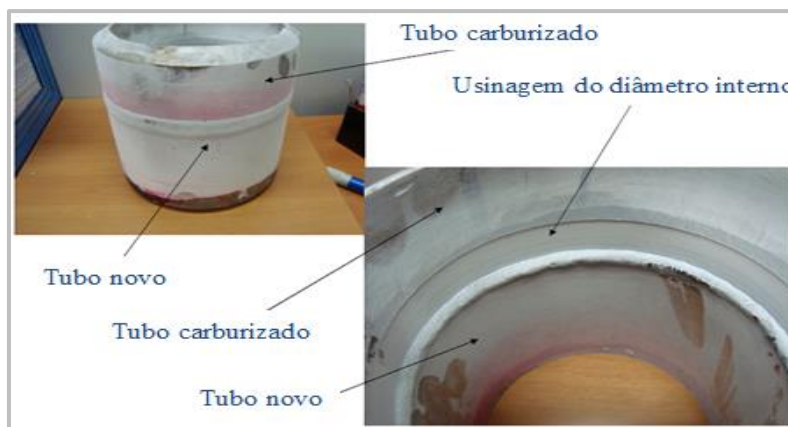
✓ Controle da temperatura de pré e pós-aquecimento

A temperatura de preaquecimento deverá ser mantida em 80°C. Para o pós-aquecimento, determina-se que o resfriamento seja feito lentamente com a cobertura de uma manta isolante.

✓ Utilização de niple

Padronizou-se a utilização de um trecho de tubulação (niple) de 150 mm entre o tetrafitting e o novo tubo para diminuir a tensão relacionada ao peso do tubo novo na ZTA do metal de base envelhecido durante a solidificação na poça de fusão, conforme figura 36.

Figura 36 – Niple para unir tubo novo com tubo velho. **Fonte:** Quebrando paradigmas nos fornos de pirolese.



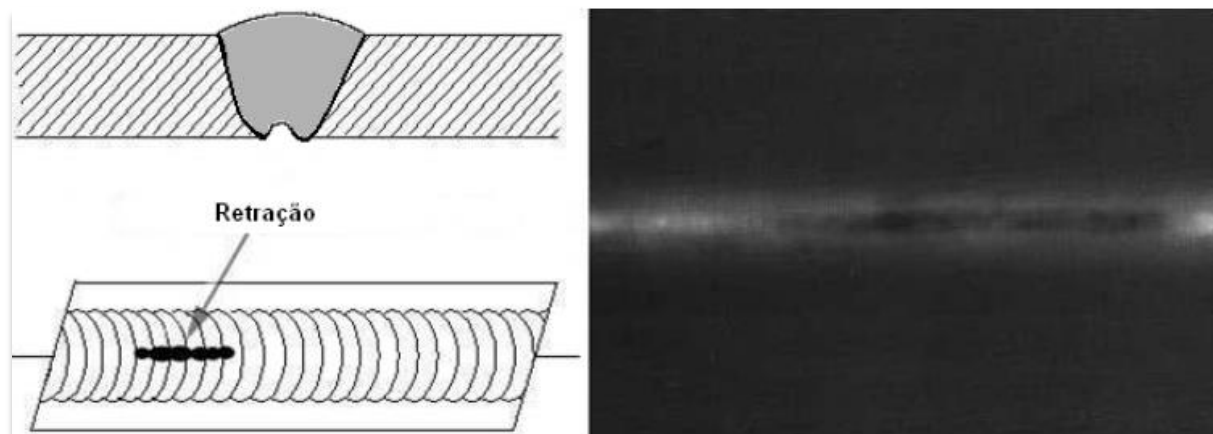
Fonte: Autor (2010).

A aplicação do procedimento para peças envelhecidas só poderá ser aplicado em peças que estiverem no final de vida útil, uma vez que nas condições apresentadas na figura 36, utiliza-se maior quantidade de material de adição de amanteigamento, o qual tem uma menor resistência à fluência que o material de base dos tubos.

2.2.3.8 Concavidade

A concavidade é uma reentrância na raiz da solda que está situada ao longo do centro do cordão. Ela pode ser central ou lateral, situada nas laterais do cordão. Veja exemplo na figura 37.

Figura 37 – Concavidade na raiz da solda.



Fonte: Almir Quites (2009). Inspeção de Juntas soldadas por Radiografia.

2.3 PROCESSOS DE GAMAGRAFIA CONVENCIONAL

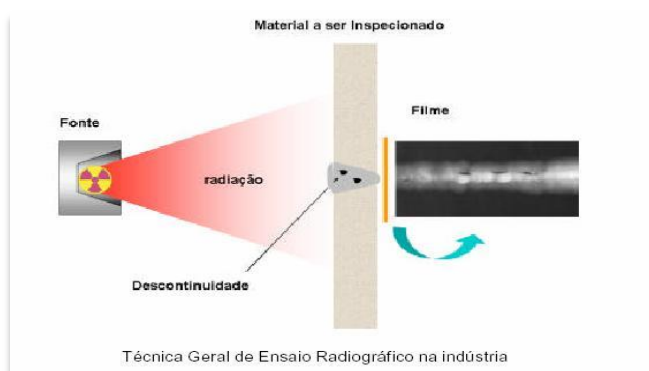
2.3.1 Princípios da Gamagrafia

A radiografia industrial é um dos mais antigos métodos de Ensaio Não Destrutivos (END). Ela se baseia na absorção diferenciada da radiação ionizante pela matéria para obter uma visão interna do objeto inspecionado, sem a necessidade de destruição do mesmo.

De acordo com Andrucci (2009), devido às diferenças na densidade e nas variações da espessura, ou mesmo à diferença nas características de absorção causadas por variações na composição do material, diferentes regiões de uma mesma peça absorvem quantidades diferentes da radiação penetrante. A absorção diferenciada da radiação poderá ser detectada através de um filme radiográfico, que indica, entre outras coisas, a existência de um defeito interno em um determinado material. Diante deste parâmetro, utiliza-se a radiografia industrial no controle de qualidade das juntas soldadas.

Descontinuidades que não produzem mudanças significativas da espessura não são detectadas por esta técnica. Na figura 38, pode-se observar um esquema ilustrativo de uma peça com uma descontinuidade que, certamente, poderá causar uma maior sensibilidade no filme devido à maior quantidade de radiação recebida.

Figura 38 – Esquema do fundamento da radiografia.



Fonte: (ANDREUCCI, 2009).

2.3.2 Tipos de Fonte Radioativa (de origem nuclear)

Segundo Ralpho (2009), fontes artificiais de origem nuclear são produzidas a partir de elementos naturais. O núcleo destes elementos quando irradiados (bombardeados) por nêutrons térmicos produzidos nos reatores nucleares, incorporam estas partículas. Isto gera um desequilíbrio energético no núcleo e, ao mesmo tempo, altera sua massa atômica. Os elementos químicos mais utilizados em radiografia industrial e suas principais características encontram-se na tabela abaixo:

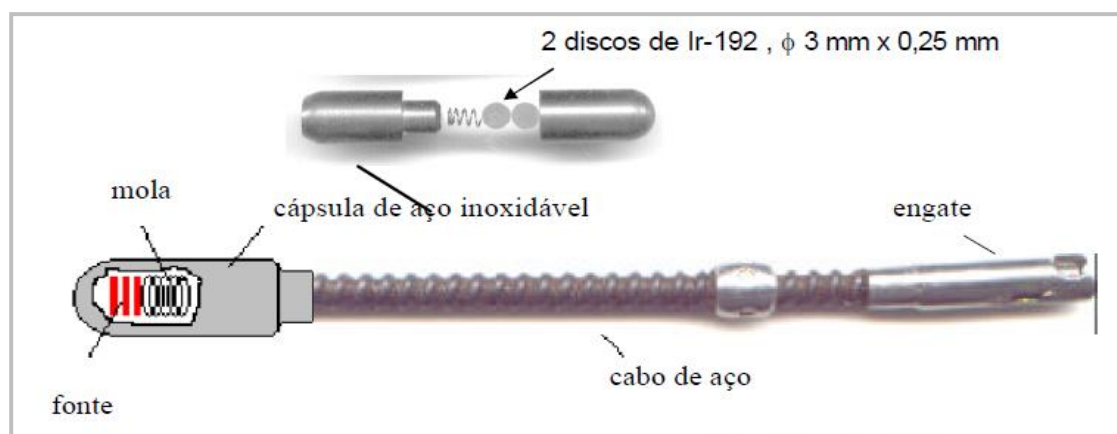
Tabela 7: Radioisótopos (energia x faixa de aplicação).

ELEMENTO QUÍMICO	SÍMBOL O	MEIA-VIDA [T ^{1/2}]	ENERGIA [MeV]	FAIXA DE APLICAÇÃO – [mm. Aço].	
				POSSÍVEL	RECOMENDÁVEL
CÉSIO 137	¹³⁷ Cs	33 anos	0,660	de 10 a 120	de 20 a 80
COBALTO 60	⁶⁰ Co	5,24 anos	1,170 a 1,330	de 30 a 300	de 60 a 200
IRÍDIO 192	¹⁹² Ir	74,4 dias	0,137 a 0,650	de 5 a 70	de 10 a 40
SELÊNIO 75	⁷⁵ Se	120,4 dias	0,066 a 0,405	de 2 a 50	de 4 a 30
TÚLIO 170	¹⁷⁰ Tm	127,0 dias	0,0084 a 0,054	de 1 a 10	de 1 a 10

Fonte: Radiografia Industrial Ralpho Silva (2009).

De acordo Ralpho, (2009), a fonte radioativa utilizada em gamagrafia consiste em certa quantidade de um determinado isótopo (Iridio 192) encapsulado e lacrado em um invólucro metálico, denominado porta-fonte (figura 39). Este se destina a impedir o contato entre o material radioativo e o meio externo, evitando, assim, qualquer tipo de contaminação

Figura 39 – Características das fontes radioativas industriais seladas.

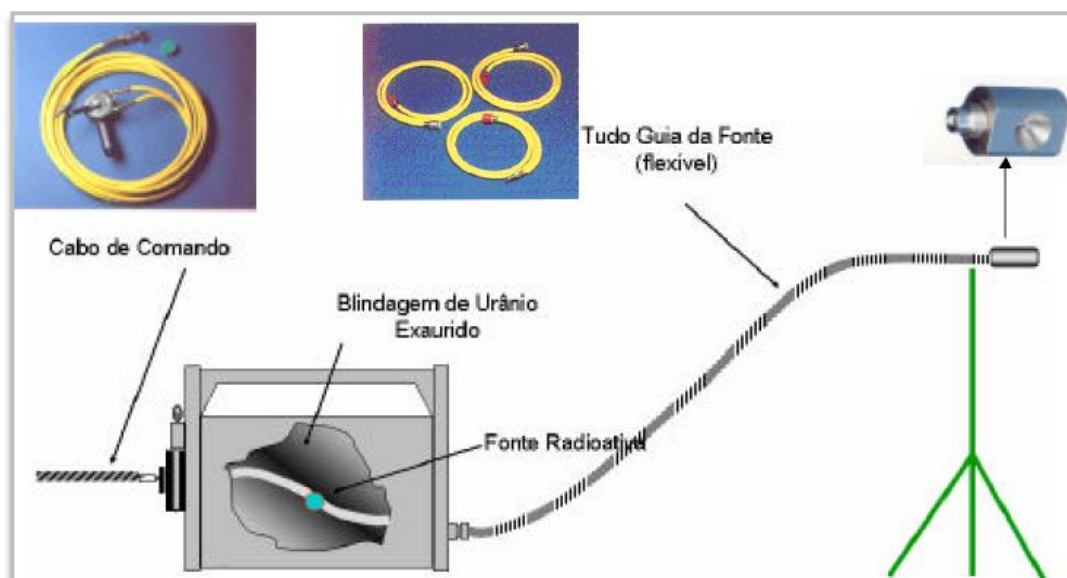


Fonte: Andreucci (2009)

2.3.3 Características Físicas dos Irradiadores Gama

Os irradiadores gama são construídos através de rígidos controles e testes estabelecidos por normas internacionais, Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) e Comissão Internacional Sobre Unidades Radiológicas (ICRU), pois o mesmo deve suportar choque mecânico, incêndio e inundação, sem que a sua estrutura ou blindagem sofram rupturas capazes de deixar vazar radiação a nível superior ao máximo exigido pelo Centro de Energia Nuclear (CNEN). Ver abaixo a figura 40 que ilustra a blindagem de um irradiador com acessórios.

Figura 40 – Ilustração da blindagem de um irradiador de gamagrafia.



Fonte: ANDREUCCI (2009)

2.4 QUALIDADE NA FABRICAÇÃO DE SOLDAS NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA:

O aumento da produtividade não está somente relacionado à quantidade produzida, mas também ao produto que atenda às necessidades dos clientes, pois, conforme Campos (1999), a produtividade é aumentada pela melhoria da qualidade. O atendimento a um programa de qualidade pode ser visto de três maneiras pelas empresas atuantes neste segmento: a primeira, como uma imposição do governo, com suas agências regulatórias, departamentos, normas e legislações; a segunda, como mercadológica, devido à competitividade e à exigência dos clientes; e a terceira, como uma ferramenta técnica, capaz de diferenciar empresas, efetivamente.

Na fabricação e fornecimento de equipamentos para a indústria, a gestão de qualidade é um instrumento controlador e normalizador, servindo de gerenciamento para uma infraestrutura apropriada ou sistema de qualidade, englobando a estrutura organizacional, os procedimentos, os processos e os recursos.

De acordo com Toledo (1997), a qualidade de um produto pode ser avaliada por meio de um conjunto de características e parâmetros específicos, a cada caso, que são intrínsecos ou estão associados ao produto.

As Normas ASME - I, ASME - IX, ASME B31.3, ASME VIII e AWS D1 são exemplos de normas que fixam condições exigíveis e práticas recomendadas para a execução de soldagem empregada em fabricação e montagem de equipamentos.

2.4.1 Controle da Qualidade na Soldagem

De acordo com França, (1981), a qualidade não é atingida somente através de máquinas, tecnologias e matérias-primas, mas também pela correta e completa conscientização e treinamento do pessoal envolvido na atividade de soldagem. Incontestavelmente, qualquer que seja o processo de soldagem utilizado, o fator humano é decisivo para a obtenção de resultados positivos na fabricação de soldas industriais.

Conforme Paladini (1997), a atividade de inspeção é a mais importante do sistema de avaliação da qualidade de um processo industrial. Na prática, a

qualidade do processo de soldagem pode ser controlada por meio de três etapas de inspeção: antes, durante e após a realização da soldagem, conforme é descrito abaixo.

a) Itens Verificados Antes da Soldagem

- soldadores qualificados para as solicitações;
- validade das qualificações dos soldadores;
- especificação do metal de base e do consumível;
- preparação da junta;
- condições de trabalho (meio-ambiente);
- procedimentos;
- planos de Fabricação;
- equipamentos de soldagem e auxiliares;
- calibração dos equipamentos e instrumentos.

b) Itens Verificados Durante a Soldagem

- controle da montagem e ajustes das peças;
- qualidade das soldas de ponteamto;
- controle da distorção;
- conformidade com procedimentos de soldagem e planos de fabricação;
- controle da temperatura de preaquecimento e entre passes;
- manuseio e controle dos consumíveis de soldagem;
- limpeza entre passes e limpeza final da junta;
- inspeção Visual.

c) Itens Verificados Após a Soldagem:

- ✓ conformidade com desenhos e especificações;
- ✓ limpeza;
- ✓ ensaios Não Destrutivos;
- ✓ inspeção destrutiva;

- ✓ controle de reparos e tratamento térmico;
- ✓ documentação das atividades de fabricação e inspeção.

2.4.1.1 Atribuição dos Inspetores de Solda N1 e N2

Os inspetores de solda são profissionais reconhecidos pelo Sistema Nacional de Qualificação e Certificação da Fundação Brasileira de Tecnologia da Soldagem (FBTS), que tem o objetivo de garantir a qualidade da solda. As atribuições dos inspetores de solda níveis 1 e 2 constam da norma ISO NBR 14842.

a) Inspetor de solda N1

É o profissional que atua diretamente na obra, executando o controle e o acompanhamento da junta soldada, antes, durante e depois da soldagem. Baseia-se nos parâmetros estabelecidos nas instruções de execução e inspeção de soldagem, que são:

- acompanhar a execução das peças de teste na qualificação de procedimentos, soldadores, operadores de máquinas de soldagem;
- verificar os resultados dos ensaios não destrutivos;
- verificar se a execução da solda ocorreu conforme procedimentos de soldagem e com soldadores devidamente qualificados;
- verificar a dureza por meio de equipamentos portáteis;
- verificar se os soldadores atuantes na obra estão devidamente qualificados e com seus respectivos certificados dentro da validade;
- verificar se os consumíveis utilizados são os indicados e se obedecem ao procedimento específico e à validade;
- efetuar o recebimento dos consumíveis verificando se estão conforme orientação do fabricante e do procedimento aplicável;
- verificar se o armazenamento, secagem e ressecagem dos consumíveis estão sendo executados conforme procedimento específico;
- verificar se os equipamentos de soldagem estão em perfeito estado de uso, garantindo a calibração no prazo apropriado.

b) Inspetor de solda N2

É o profissional responsável pela elaboração das instruções de soldagem, assim como pela qualificação de procedimentos de soldagem e de soldadores, interpretação de normas técnicas, verificação da adequação de procedimentos de soldagem, preparação e arquivo da documentação técnica relativa à soldagem e análise dos resultados de ensaios não destrutivos.

2.4.1.2 Os Processos Escolhidos

O processo de produção consiste na atividade do processo de soldagem TIG e do processo de controle da qualidade. Este último compreende atividades de inspeção do produto que consiste em ensaio visual e ensaio não destrutivo (gamagrafia).

Durante a execução da soldagem TIG, é necessário que sejam verificadas as variáveis e os fatores relacionados abaixo, por estes serem capazes de influenciar no resultado da solda. São eles:

- tipo de material e espessura;
- corrente e polaridade adequada;
- especificação e diâmetro do eletrodo de tungstênio;
- tipo de gás de proteção;
- diâmetro do bocal da tocha;
- ângulo da tocha e da vareta para corrente contínua e corrente alternada;
- altura adequada do eletrodo de tungstênio à peça;
- verificação das condições física das mangueiras, cabos elétricos, tochas, prendedores do fio terra;
- escolha da técnica para abertura do arco;
- calibração, vazão e pressão do gás;
- utilização do fuxímetro para medir a vazão do bocal;
- afiação do eletrodo de forma especificada.

3 ESTUDO DE CASO: SISTEMA DE GESTÃO NA QUALIDADE DA SOLDA PARA O PROCESSO DE SOLDAGEM TIG

3.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA EM ESTUDO.

O estudo foi realizado na empresa Braskem Unib, que possui atuação nos setores químico e petroquímico e se destaca no cenário global como a maior produtora de resina termoplástica das Américas. Sua produção é focada em polietileno, polipropileno, policarbonato de vinila, além de insumos básicos como eteno, propeno, butadieno, benzeno, tolueno, cloro, soda, entre outros.

3.2 METODOLOGIA DO ESTUDO:

➤ Identificação do Problema

As falhas foram identificadas através do resultado da radiografia, de entrevistas e monitoramentos internos, tendo como escopo os requisitos de qualidade, capazes de tornar a empresa mais produtiva e competitiva.

➤ Correção do problema

Após identificadas as falhas, foram implantadas ações corretivas, através de demonstrações teóricas em sala de treinamento e demonstrações práticas no local de trabalho para os soldadores, os supervisores e os gestores envolvidos no processo.

➤ Acompanhamento Para Melhoria do Problema

O acompanhamento do problema de pesquisa foi realizado através dos relatórios de radiografia, onde verificou-se o índice de aproveitamento individual dos soldadores, através de arquivos, que constam as seguintes informações: acompanhamento mensal do desempenho dos soldadores; controle de todas as juntas radiografadas; controle de desempenho dos soldadores por tipo de defeito; controle de desempenho dos soldadores por tipo de liga.

➤ Ajustes das Causas do Problema

Os ajustes foram realizados através do monitoramento diário das descontinuidades ou defeitos indicados no relatório de radiografia. Ao identificar a existência de um tipo de defeito, fez-se a avaliação das causas do mesmo. Isto em conjunto com o grupo envolvido, principalmente com o soldador executante. Em seguida, adotou-se procedimentos de correção da indicação avaliada.

➤ Avaliação dos Resultados

Neste estudo, para avaliação dos resultados, foi realizado um comparativo mensal no período de 2010 a 2012, levando em consideração os fatores citados abaixo:

- tipos defeitos que levaram as juntas a serem reprovadas;
- Acompanhamento mensal da quantidade de filmes e juntas reprovadas;
- Desempenho dos soldadores por tipo de defeito;
- Desempenho dos soldadores por tipo de liga soldado;

3.3 FALHAS IDENTIFICADAS NA AUDITORIA E NO MONITORAMENTO DO SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE DAS SOLDAS, UTILIZANDO O PROCESSO DE SOLDAGEM TIG

- ▶ Falhas na identificação e rastreabilidade dos itens que compõem o produto;
- ▶ deficiência no sistema de gestão;
- ▶ deficiência no controle de desempenho dos soldadores;
- ▶ armazenamento dos consumíveis em desacordo com o procedimento;
- ▶ calibração irregular das máquinas de solda;
- ▶ ausência do procedimento de soldagem na fábrica para algumas situações;
- ▶ preparação da junta e execução da solda sendo realizada com parâmetros diferentes do especificado no procedimento de soldagem;
- ▶ falta de treinamento para os soldadores e operadores;
- ▶ falta de motivação da equipe.

3.4 COLETA DE DADOS PARA A ANÁLISE DO PROBLEMA

A coleta de dados foi feita levando em consideração que todas as juntas soldadas, exceto as que possuem geometria complexa, foram radiografadas, conforme procedimento técnico, de acordo com a norma ASME B.31.3.

Neste evento, o resultado do ensaio radiográfico garante a representatividade para a análise da qualidade das soldas.

Diante dos resultados da inspeção radiográfica obtidos no período de 2010, foi criada a tabela 9, que contém informações que possibilitam identificar alguns desvios danosos à qualidade das soldas. De forma comparativa com outras tabelas criadas em 2011 e 2012 e levando em consideração os mesmos parâmetros realizados em 2010, obteve-se o resultado deste estudo.

3.4.1 Relatório de Radiografia – 2010

O relatório de radiografia é um documento que apresenta um resumo das informações das juntas radiografadas e os resultados (aprovado ou reprovado) das juntas soldadas e inspecionadas, sendo este rastreado pela data de execução do

serviço e do número de exibição contido na parte superior do lado direito, conforme tabela 8.

Tabela 8 – Relatório de radiografia.

		RELATÓRIO DE ENSAIO RADIOGRÁFICO				No. Programação				
						FOLHA.	1/1	Nº Relat.	002	
						DATA EMISSÃO		15.01.10		
IDENTIFICAÇÃO										
CLIENTE:				OS:				DATA TESTE		15.01.10
OBRA FORNO CONTRATO: 4110				LOCALIZAÇÃO: FORNO 4110						
FABRICANTE / MONTADORA:				CONDIÇÕES SUPERFICIAIS: ESCOVADO						
CONDIÇÕES RADIOGRÁFICAS										
PROC. DE ENSAIO: Nº / REVISÃO.			PT-RG-06 REV 3		METAL BASE: HK 40		METAL DE ADIÇ.		ER-2535	
NORMA DE REF.:		ASME B 31.3		PROC. DE SOLDA:			TÉCNICA DE EXPOSIÇÃO: PD - VS			
PARÂMETROS	Nº FONTE	CORRENTE	FOCO	APARELHO	IQI		FIO ESSENCIAL			
GAMAGRAFIA	-	-	-	-	FE EN		13			
TIPO DE FONTE	Nº FONTE	ATIVIDADE	FOCO	IRRADIADOR	ECRANS		FILME			
IRIDIO 192	5280	7,35 Ci	3,16 mm	326	Pb 0.005" E 0.010"		CLASSE I			
Nº.: ITEM	IDENTIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO	MATERIAL	JUNTA	POSIÇÃO	DIÂMETRO	ESP. (MM)	DEFEITOS		RESULT.	SOLDADOR
									A	
01	PASSE 04 TUBO 4L	HK 40	01	01	2"	5,54	B		X	22/22
02	PASSE 04 TUBO 4L	HK 40	01	02	2"	5,54	B		X	22/22
03	PASSE 04 TUBO 4L	HK 40	01	03	2"	5,54	B		X	22/22
04	PASSE 04 TUBO 4L	HK 40	01	04	2"	5,54	B		X	22/22
05	PASSE 04 TUBO 4L LAVAL	HK 40	02	01	2"	5,54	N		X	22/22
06	PASSE 04 TUBO 4L LAVAL	HK 40	02	02	2"	5,54	N		X	22/22
07	PASSE 04 TUBO 4L LAVAL	HK 40	02	03	2"	5,54	N		X	22/22
08	PASSE 04 TUBO 4L LAVAL	HK 40	02	04	2"	5,54	N		X	22/22
N - SEM DESCONTINUIDADE B - POROSIDADE DEC - EX. COMPLEMENTAR RC - RECHUPE DE CRATERA CN - CONCAVIDADE S - INCLUSÃO DE ESCORIA L - FALTA DE FUSÃO I - PENETRAÇÃO INCOMPLETA U - MORDEDURA C - TRINCA P - PERF. / CRATERA H - PASSE OCO EP - EXC. DE PENETRAÇÃO IT - INCLUSÃO DE TUNGSTÊNIO IO - INCLUSÃO DE ÓXIDO										
OBS.:										
DATA 15.01.10			DATA				DATA			
JUSSIMAR C. DOS REIS ER-N2-S-RG - SNQC / END 0680							CLIENTE / FISCALIZAÇÃO			

Fonte: Autor, conforme Norma 1595d (2004).

3.4.2 Tabela de Controle de Juntas Soldadas e Inspecionadas por Gamagrafia em 2010

A tabela de controle de juntas soldadas compreende um documento que consta de um resumo das informações contidas nos relatórios de radiografia, tendo como objetivo principal apresentar informações que contribuam para o desenvolvimento deste trabalho (tabela 9).

Tabela 9 – Apresenta o controle de juntas soldadas e inspecionada por gamagrafia em 2010.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	DATA	MÊS	FORNO	IDENTIFICAÇÃO DA PEÇA	JUNTA	FILMES TOTALIS	FILMES REPROVADOS	MATERIAL BASE	ESP (mm)	DIAM (pol)	SINETE OESTE	SINETE LESTE	METAL DE ADIÇÃO	LAUDO	DEFEITO 1	DEFEITO 2	DEFEITO 3	DEFEITO 4	DEFEITO 5
2	15.01.2010	Jan-10	BA-4101	Passe 04 tubo 4K	1	4	0	HK 40	3,91	2	-	-	ER-347	AP					
3	15.01.2010	Jan-10	BA-4101	Passe 04 tubo 4K Laval	2	4	0	HK 40	3,91	2	-	-	ER-347	AP					
4	15.01.2010	Jan-10	BA-4101	Passe 04 tubo 4L	1	4	0	HK 40	5,54	2	-	-	ER-2535	AP					
5	15.01.2010	Jan-10	BA-4101	Passe 04 tubo 4L Laval	2	4	0	HK 40	5,54	2	-	-	ER-2535	AP					
6	16.01.2010	Jan-10	BA-4110	Passe 04 tubo 4L	3	4	0	HK 40	5,54	3	-	-	ER-2535	AP					
7	16.01.2010	Jan-10	BA-4110	Passe 04 tubo 4K	3	4	0	HK 40	5,54	3	-	-	ER-2535	AP					
8	16.01.2010	Jan-10	BA-4110	Passe 04 tubo 4	4	4	0	HK 40	7,62	3	-	-	ER-2535	AP					
9	16.01.2010	Jan-10	BA-4110	Passe 04 tubo 4	5	4	0	HK 40	7,62	3	-	-	ER-2535	AP					
10	16.01.2010	Jan-10	BA-4110	Passe 04 tubo 4	6	4	0	HK 40	7,62	3	-	-	ER-2535	AP					
11	16.01.2010	Jan-10	BA-4110	Passe 04 tubo 4	7	4	1	HK 40	7,62	3	-	-	ER-2535	RP	PO				
12	16.01.2010	Jan-10	BA-4110	Passe 04 tubo 4	7 NR	2	1	HK 40	7,62	3	-	-	ER-2535	RP	PO				
13	16.01.2010	Jan-10	BA-4110	Passe 04 tubo 4	7 NT	4	2	HK 40	7,62	3	-	-	ER-2535	RP	FF	FF			
14	17.01.2010	Jan-10	BA-4110	Passe 04 tubo 4	7 NT 1	4	0	HK 40	7,62	3	-	-	ER-2535	AP					
15	02.02.2010	Fev-10	BA-4109	2"AV-41900 G2E	1	4	0	P22	8,74	2	1	1	ER 80SB2	AP					
16	02.02.2010	Fev-10	BA-4109	2"-AV-41900 F3A	2	4	1	AC	8,74	2	1	1	ER 80SB2	RP	PO				
17	03.02.2010	Fev-10	BA-4109	2"-AV-41900 F3A	2 NT	5	0	AC	8,74	2	-	-	ER 70S3	AP					
18	21.08.2010	Ago-10	BA-1108	Conjunto Externo Sul	D NT	4	1	HK 40	7	5	4	4	35/45	RP	CO				
19	21.08.2010	Ago-10	BA-1108	J-1 Curva 18	1	4	0	HK 40	7	5	4	4	35/45	AP					
20	22.08.2010	Ago-10	BA-1108	Conjunto Externo Sul	D NT NR	4	0	HK 40	7	5	4	4	35/45	AP					
21	25.08.2010	Ago-10	BA-1101	Passe 02	3B	4	0	HK 40	5,5	4	4	4	25/35	AP					
22	25.08.2010	Ago-10	BA-1101	Passe 02	4B	4	0	HK 40	5,5	4	4	6	25/35	AP					
23	26.08.2010	Ago-10	BA-1101	Passe 02	3A	4	0	HK 40	5,5	4	4	4	25/35	AP					
24	26.08.2010	Ago-10	BA-1101	Passe 02	4A	4	0	HK 40	5,5	4	4	4	25/35	AP					
25	26.08.2010	Ago-10	BA-1101	Passe 06	3B	4	0	HK 40	5,5	4	4	6	35/45	AP					
26	26.08.2010	Ago-10	BA-1101	Passe 06	4A	4	0	HK 40	5,5	4	6	6	35/45	AP					
27	26.08.2010	Ago-10	BA-1101	Passe 06	4B	4	0	HK 40	5,5	4	6	6	35/45	AP					
28	27.08.2010	Ago-10	BA-1101	Passe 06	3A	4	0	HK 40	5,5	4	4	4	35/45	AP					
29	27.08.2010	Ago-10	BA-1101	BB 11001 2"	1	4	3	A/C	8,71	2	66	66	70S3	RP	PO	CO	PO	PO	
30	27.08.2010	Ago-10	BA-1101	BB 11001 2"	2	4	3	A/C	8,71	2	66	66	70S3	RP	FF	FF	PO		

Fonte: Autor (2010).

3.4.2.1 Percentual Mensal de Filmes Reprovados em 2010

O gráfico 2 e a tabela 10 apresentam o percentual mensal dos filmes reprovados. Pode-se verificar que houve uma variação de reprovação entre 7,7% e 21,9% ao mês. Houve também uma grande variação mensal na relação de filmes radiografados e filmes reprovados. Estas variações ocorrem devido às solicitações de manutenções serem praticadas de formas diferentes.

O tipo de material e as condições de soldagem são fatores que influenciam na variação da reprovação dos filmes, devido à existência de materiais com soldabilidade diferente, como materiais envelhecidos, materiais com alto teor de carbono e materiais constituídos de diversas ligas.

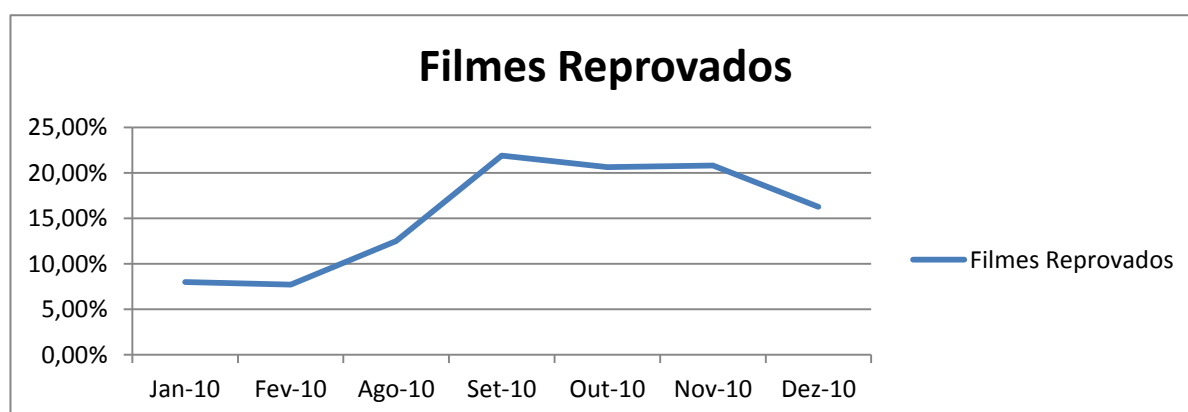
As condições de soldagem variam de acordo com a posição e o acesso de soldagem, levando em consideração que encontra-se na área industrial, posição de soldagem e acesso para realizar as soldas com grau de dificuldade diferente. Estes fatores contribuem para a ocorrência na variação do índice de reprovação.

Tabela 10 – Apresenta o percentual mensal dos filmes reprovados em 2010.

MÊS / ANO	FILMES REPROVADOS	FILMES TOTAIS	%
Jan-10	4	50	8,0%
Fev-10	1	13	7,7%
Ago-10	8	64	12,5%
Set-10	21	96	21,9%
Out-10	52	252	20,6%
Nov-10	83	399	20,8%
Dez-10	27	166	16,3%
Total Geral	196	1040	18,9%

Fonte: Autor (2010)

Figura 41 – Representa o percentual mensal dos filmes reprovados em 2010.



Fonte: Autor (2010).

3.4.2.2 Percentual mensal de juntas reprovadas em 2010

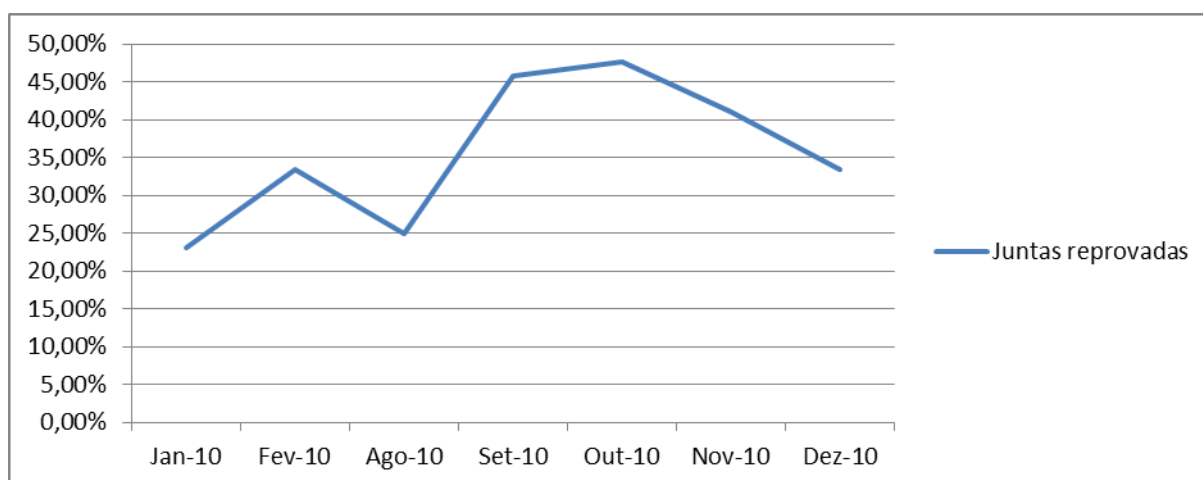
O desempenho dos soldadores é realizado por junta reprovada. São radiografados vários filmes por junta e, caso seja reprovado um destes filmes, a junta é considerada reprovada. A figura 42 e a tabela 11 apresentam o percentual mensal de juntas reprovadas no ano de 2010, onde verifica-se uma variação no índice de reprovação de 23% a 47%.

Tabela 11 – representa o percentual mensal de juntas reprovada em 2010.

RP POR MÊS				
Rótulos de Linha	AP	RP	Total Geral	%
Jan-10	10	3	13	23,0%
Fev-10	2	1	3	33,3%
Ago-10	12	4	16	25,0%
Set-10	13	11	24	45,8%
Out-10	33	30	63	47,6%
Nov-10	59	41	100	41,0%
Dez-10	28	14	42	33,3%
Total Geral	157	104	261	39,8%

Fonte: Autor (2010).

Figura 42 – Representa o percentual mensal de juntas reprovada em 2010.

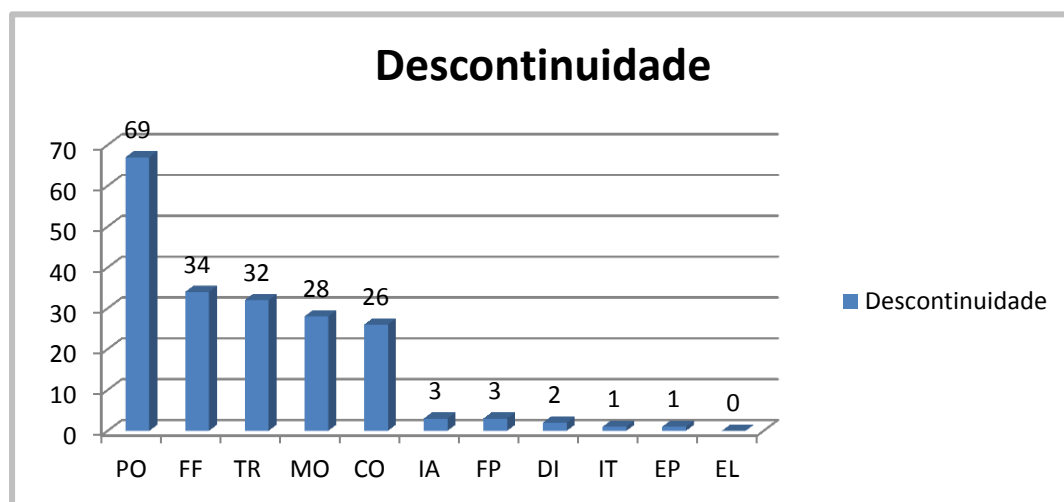


Fonte: Autor (2010).

3.4.2.3 Defeitos que levaram as juntas a serem reprovadas no ano de 2010

A figura 43 apresenta a distribuição em quantidade e os tipos de defeitos detectados que levaram os filmes à reprovação através do ensaio de gamagrafia realizado no ano de 2010, enquanto que o gráfico 5 apresenta a distribuição em percentual dos tipos de defeitos detectadas durante o mesmo período.

Figura 43 – Apresenta a quantidade e os tipos dos defeitos que reprovaram as juntas em 2010.



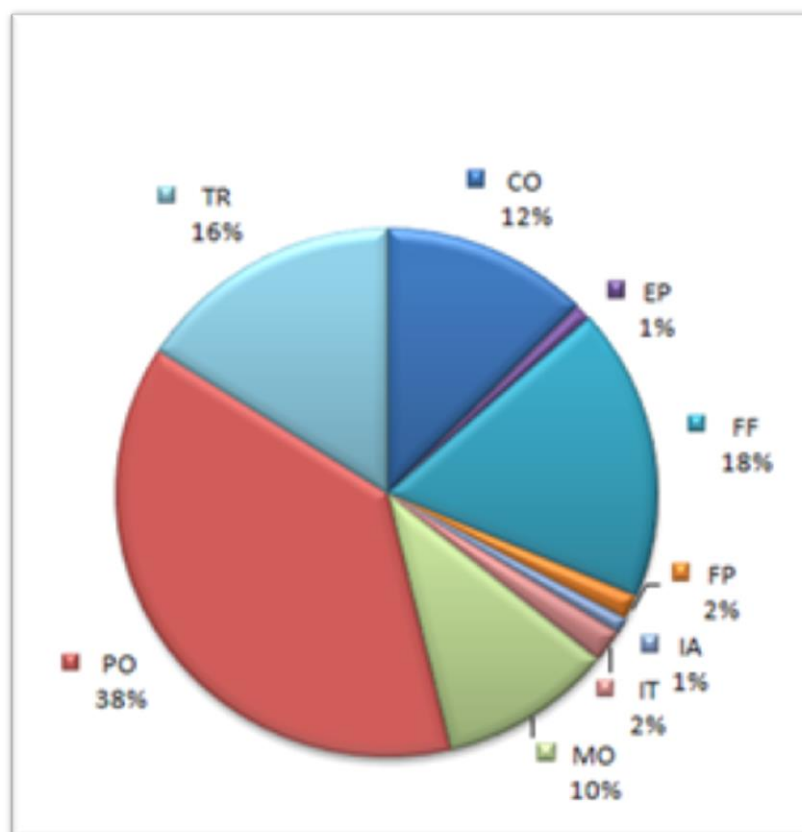
Fonte: Autor (2010).

Legenda das Descontinuidades

- PO** Porosidade
- FF** Falta de fusão
- TR** Trinca
- MO** Mordedura
- CO** Concavidade
- IA** Indicação alongada
- FP** Falta de penetração
- DI** Depósito insuficiente
- IT** Inclusão de tungstênio
- EP** Excesso de penetração
- EL** Entalhe de lixadeira

Conforme as figuras 43 e 44, é possível notar que os defeitos como porosidade, falta de fusão, trinca, mordedura e concavidade contribuíram significativamente para o alto índice de reprovação das juntas soldadas. Estas informações foram utilizadas no estudo das causas e das possíveis correções de seus principais defeitos.

Figura 44 – Distribuição da ocorrência de descontinuidades em 2010.



Fonte: Autor (2010)

3.5 AÇÕES INCORPORADAS PARA MELHORAR A PRODUTIVIDADE E A QUALIDADE DAS JUNTAS SOLDADAS ATRAVÉS DO PROCESSO DE SOLDAGEM TIG

Após a análise dos resultados e da auditoria, foram identificadas muitas carências no processo de trabalho. A empresa optou por elaborar e cumprir um plano de ação com o objetivo de eliminar as causas dos problemas e prover melhorias no processo, conforme descrito abaixo:

- elaborar instrução de execução e inspeção da soldagem;
- aplicar controle de desempenho do soldador;
- treinar os supervisores e os soldadores a executarem a solda conforme o procedimento;
- remover das bordas das superfícies interna e externa das conexões antes de realizar a solda impurezas como: Tintas, carepas, ferrugem e verniz. Conforme figura 45.

Figura 45 – superfície da junta preparada para ser soldada.



Fonte: Autor (2010).

- aplicar as tolerâncias dimensionais (ângulo do bisel, do chanfro, abertura de raiz etc.) conforme o procedimento. Ver ex.: Figura 46.

Figura 46 – Medida do ângulo do chanfro com uso do calibre de solda.



Fonte: Autor (2011).

- Proteger o bisel contra ferrugem, com uso de verniz antioxidante, conforme figura 47.

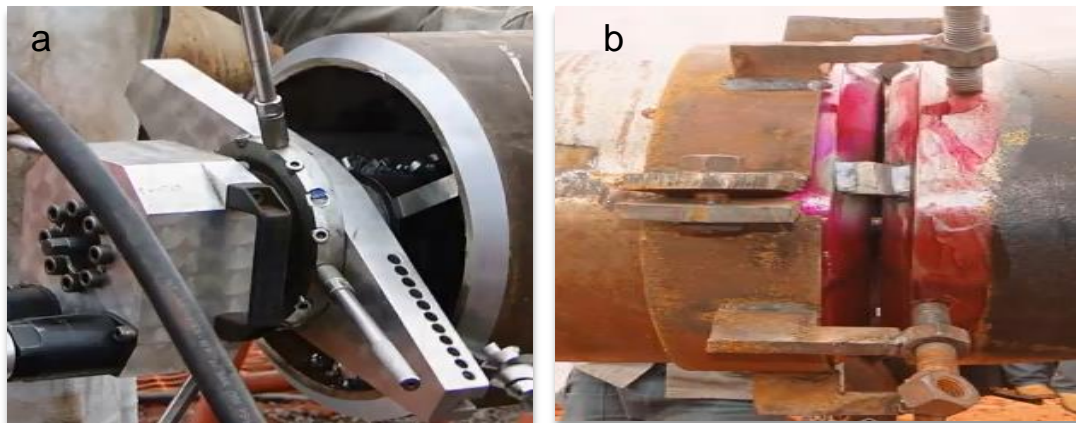
Figura 47 – Proteção do bisel com antioxidante.



Fonte: Autor (2010).

- utilizar ferramentas adequadas para realizar o biselamento e o acoplamento dos componentes (tubos) a serem soldados, conforme Figura 48.

Figura 48 – Uso de ferramentas adequadas, a) para biseladeira b) acopladora.



Fonte: [Alumaq.net.br/dispositivos-para-1 grampos – aclopadeira.html](http://Alumaq.net.br/dispositivos-para-1-grampos-aclopadeira.html) (2012).

- Verificar através de inspeção a integridade física dos equipamentos de soldagem (fontes de soldagem, tochas, mangueiras entre outros acessórios);
- controlar a vazão do gás através de utilização de fluxômetro (bibímetro), além do fechamento da corrente de ar externo;
- reparar corretamente o ângulo de afiamento do eletrodo;
- Aplicar corretamente as técnicas de soldagem (desenvolvimento da poça de fusão, recuo da tocha, adição de material, afastamento da vareta, avanço da tocha conduzindo a poça de fusão);
- utilizar corretamente as variáveis de soldagem (corrente de soldagem, comprimento do arco, velocidade de soldagem etc.);
- garantir a atuação do inspetor de controle de qualidade durante a atividade de preparação e execução da solda;
- esclarecer aos soldadores e supervisores de solda, através de treinamentos, diálogo diário de segurança (DDS) e palestras, as causas e correções dos principais defeitos relacionados ao processo TIG.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 RELATÓRIO DE GAMAGRAFIA 2011

Após a implantação do plano de ação, novos registros foram realizados apresentando resultados, conforme descrito na tabela 12, que representa os relatórios de radiografia e na tabela 13 que representa o controle das juntas radiografadas e inspecionadas por gamagrafia em 2011.

Tabela 12 – Relatório de radiografia

		RELATÓRIO DE ENSAIO RADIOGRÁFICO					No. 001/11			
							FOLH A. 1/1	Nº QT 001		
							DATA EMISSÃO 06.01.11			
IDENTIFICAÇÃO										
CLIENTE:			OM 90542380		DATA TESTE 06.01.11					
OBRA CONTRATO: FORNO BA -1104				LOCALIZAÇÃO: BA-1104						
FABRICANTE / MONTADORA:			CONDIÇÕES SUPERFICIAIS: ESCOVADO							
CONDIÇÕES RADIOGRÁFICAS										
PROC. DE ENSAIO: Nº / REVISÃO.		PT-RG-06 REV. 5		METAL BASE: HK-40		METAL DE ADI. 25/35				
NORMA DE REF.: ASME B 31.3		PROC. DE SOLDA: -		TÉCNICA DE EXPOSIÇÃO: PÉ - VS						
PARÂMETROS	Nº FONTE	CORRENTE	FOCO	APARELHO	IQI	FIO ESSENCIAL				
GAMAGRAFIA	-	-	-	-	FE EN	12				
TIPO DE FONTE	Nº FONTE	ATIVIDADE	FOCO	IRRADIADOR	ECRANS	FILME				
IRÍDIO 192	5483	6,60Ci	3,08mm	S-4489	Pb 0.005" E 0.010"	CLASSE I				
Nº: ITEM	IDENTIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO	MATERIAL	JUNTA	POSICÃO	DIÂMETRO	ESP. (MM)	DEFEITOS	RESULT.		SOLDADOR
								A	R	
01	BA - 1104 PASSE 02	HK-40	01 A	01	3"	7,6	N	X		26/26
02	BA - 1104 PASSE 02	HK-40	01 A	02	3"	7,6	N	X		26/26
03	BA - 1104 PASSE 02	HK-40	01 A	03	3"	7,6	B	X		26/26
04	BA - 1104 PASSE 02	HK-40	01 A	04	3"	7,6	B	X		26/26
05	BA - 1104 PASSE 02	HK-40	04 A	01	3"	7,6	B	X		26/26
06	BA - 1104 PASSE 02	HK-40	04 A	02	3"	7,6	B	X		26/26
07	BA - 1104 PASSE 02	HK-40	04 A	03	3"	7,6	U-L		X	26/26
08	BA - 1104 PASSE 02	HK-40	04 A	04	3"	7,6	N	X		26/26
SIMBOLOGIA										
N - SEM DESCONTINUIDADE		B - POROSIDADE		DEC - EX. COMPLEMENTAR		RC - RECHUPE DE CRATERA		CN - CONCAVIDADE		
S - INCLUSÃO DE ESCORIA		L - FALTA DE FUSÃO		I - PENETRAÇÃO INCOMPLETA		U - MORDEDURA		C - TRINCA		
P - PERF. / CRATERA		H - PASSE OCO		EP - EXC. DE PENETRAÇÃO		IT - INCLUSÃO DE TUNGSTÊNIO		IO - INCLUSÃO DE ÓXIDO		
								IA - INDICAÇÃO ALONGADA		
OBS:										
DATA 06.01.11			DATA				DATA			
JUSSIMAR C. DOS REIS ER-N2-S-RG - SNQC / END 0680							CLIENTE / FISCALIZAÇÃO			

Fonte: Autor, (2011), conforme Norma 1595 d (2004).

4.2 CONTROLE DE JUNTAS SOLDADAS E INSPECIONADAS POR GAMAGRAFIA EM 2011

No período de 2011, conforme tabela 12, foram gerados vários relatórios que possibilitaram a aquisição de dados para criar a tabela 13, que apresenta as juntas inspecionadas e reprovadas em 2011.

Tabela 13 – Apresenta controle das juntas soldadas e inspecionada por gamagrafia em 2011.

1	DATA	MÊS	FORNO	ENS AIO	IDENTIFIC AÇÃO DA	JUNTA	FILM ES	FILMES REPROVADO	MATERIAL BASE	ESP (mm)	DIAM (pol)	SINET E	SINET E	METAL DE ADIÇÃO	LAUD O	DEFEI TO 1	DEFEI TO 2	DEFEI TO 3	DEFEI TO 4	DEFEI TO 5
2	06/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 02	1A	4	0	HK-40	7,6	3	11	11	25/35	AP					
3	06/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 02	4A	4	1	HK-40	7,6	3	11	11	25/35	RP	MO	FF			
4	06/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 05	1A	4	0	HK-40	7,6	3	41	41	25/35	AP					
5	06/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 05	4A	4	0	HK-40	7,6	3	41	41	25/35	AP					
6	07/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 02	4ANR	4	0	HK-40	7,6	3	41	41	25/35	AP					
7	07/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 05	5A	4	0	HK-40	5,5	4	2	2	25/35	AP					
8	07/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 05	6A	4	0	HK-40	5,5	4	2	2	25/35	AP					
9	09/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 01	6A	4	0	HK-40	5,5	4	11	41	25/35	AP					
10	09/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 02	5A	4	0	HK-40	7,6	3	11	41	25/35	AP					
11	09/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 02	6A	4	0	HK-40	5,5	4	41	41	25/35	AP					
12	09/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 03	5A	4	0	HK-40	5,5	4	11	41	25/35	AP					
13	09/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 03	6A	4	0	HK-40	5,5	4	11	41	25/35	AP					
14	09/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 04	5A	4	0	HK-40	5,5	4	2	2	25/35	AP					
15	09/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 04	6A	4	0	HK-40	5,5	4	2	2	25/35	AP					
16	09/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 06	5A	4	0	HK-40	5,5	4	2	2	25/35	AP					
17	09/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 06	6A	4	0	HK-40	5,5	4	11	41	25/35	AP					
18	13/01/2011	Jan-11	BA-1105	RX	Passe 06	7A 1	4	2	HK-40	7	5	13	13	35/45	RP	TR				
19	13/01/2011	Jan-11	BA-1105	RX	Passe 06	8A	4	0	HK-40	7	5	13	13	35/45	AP					
20	13/01/2011	Jan-11	BA-1101	RX	Passe 03	3A	4	1	HK-40	5,5	4	2	2	25/35	RP	PO				
21	13/01/2011	Jan-11	BA-1101	RX	Passe 03	3B	4	0	HK-40	5,5	4	13	13	25/35	AP					
22	13/01/2011	Jan-11	BA-1101	RX	Passe 03	3ANR	4	0	HK-40	5,5	4	188	188	25/35	AP					
23	14/01/2011	Jan-11	BA-1105	RX	Passe 03	7A	4	0	HK-40	7	5	188	188	25/35	AP					
24	14/01/2011	Jan-11	BA-1105	RX	Passe 03	7A 1 NT	4	0	HK-40	7	5	535	535	25/35	AP					
25	15/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 02	5B	4	0	HK-40	5,5	4	11	41	25/35	AP					
26	15/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 02	6B	4	0	HK-40	5,5	4	11	41	25/35	AP					
27	15/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 03	5A	4	0	HK-40	5,5	4	11	41	25/35	AP					
28	15/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 04	6B	4	0	HK-40	5,5	4	11	41	25/35	AP					
29	15/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 04	6C	4	0	HK-40	5,5	4	11	41	25/35	AP					
30	15/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 05	1C	4	0	HK-40	7,6	3	2	2	25/35	AP					
31	16/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 01	6B	4	0	HK-40	7,6	4	11	41	25/35	AP					
32	16/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 01	6C	4	0	HK-40	7,6	4	11	41	25/35	AP					
33	16/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 02	1C	4	1	HK-40	5,5	3	2	2	25/35	RP	FF				
34	16/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 03	4A	4	0	HK-40	5,5	3	11	41	25/35	AP					
35	16/01/2011	Jan-11	BA-1104	RX	Passe 03	4B	4	1	HK-40	5,5	3	11	41	25/35	RP	CO				

Fonte: Autor (2011).

Após a construção desta tabela de controle de juntas soldadas, foram gerado novos gráficos com a mesma semelhança de informações contidas nos gráficos gerados em 2010, objetivando com isto, através de método comparativo a visualização do resultado após aplicação de melhorias.

4.2.1 Defeitos Que Levaram as Juntas a Serem Reprovadas em 2011

A quantidade dos tipos de defeitos que reprovaram as juntas foram adquiridos através do somatório individual dos defeitos existentes na planilha de junta soldada. A tabela 14 apresenta o resumo dos defeitos que levaram as juntas a serem reprovadas em 2011.

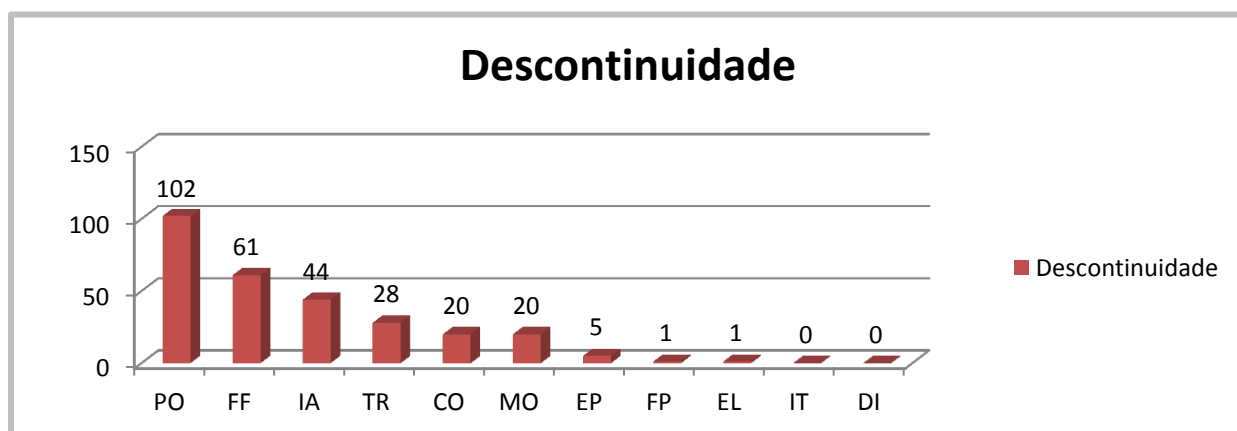
Tabela 14 – Tipo e quantidade de defeito que levaram as juntas serem reprovadas em 2011.

TIPO DE DEFEITO	D1	D2	D3	D4	D5	TOTAL
PO POROSIDADE	59	25	13	3	1	102
IA INDICAÇÃO ALONGADA	22	13	6	2	0	43
CO CONCAVIDADE	10	7	1	2	0	20
TR TRINCA	16	9	2	1	0	28
MO MORDEDURA	10	7	2	0	1	20
FF FALTA DE FUSÃO	35	22	4	0	0	61
FP FALTA DE PENETRAÇÃO	0	1	0	0	0	1
IT INCLUSÃO DE TUNGSTÊNIO	0	0	0	0	0	0
DI DEPÓSITO INSUFICIENTE	0	0	0	0	0	0
EP EXCESSO DE PENETRAÇÃO	2	2	0	1	0	5
EL ENTALHE DE LIXADEIRA	1	0	0	0	0	1

Fonte: Autor.

A figura 49 mostra os tipos e as quantidades de defeitos que reprovaram as juntas em 2011. Pode-se verificar que porosidade e falta de fusão destacam-se entre os defeitos que levaram as juntas a serem reprovadas. Outro defeito relevante foram as Indicações alongadas, isto é, defeitos onde o comprimento é maior que três vezes a sua largura.

Figura 49 – Apresenta os defeitos que reprovou maior quantidade de juntas em 2011.



Fonte: Autor (2011).

4.2.2 Percentual de Filmes Reprovados em 2011

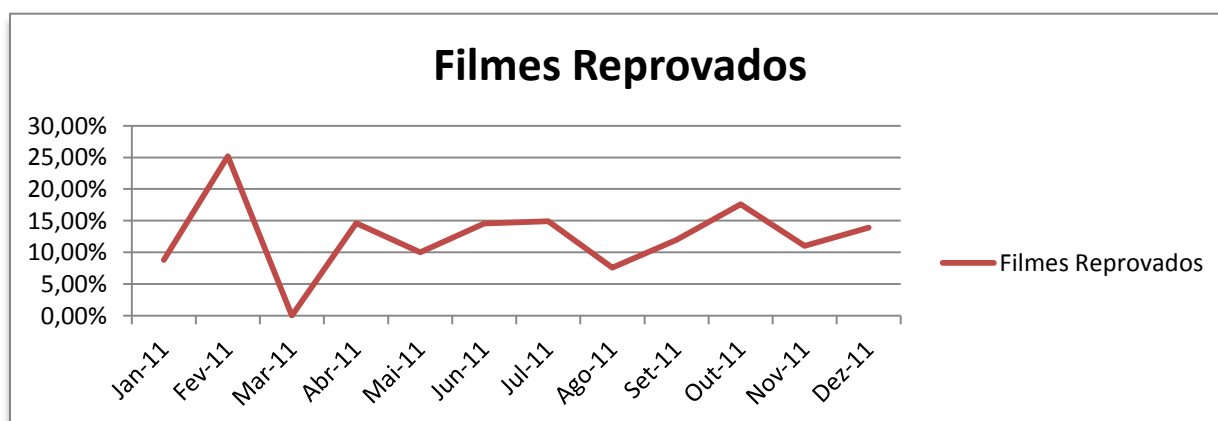
A tabela 15 apresenta o percentual mensal de filmes reprovados em 2011. Nota-se uma oscilação mensal entre 0% a 25%. Atribui-se esta diferença de oscilação aos diferentes tipos de soldas realizados quanto ao diâmetro, espessura material e acesso ao local da solda. Houve melhora no índice de 19% em 2010 para 13% em 2011.

Tabela 15 – Informa o percentual mensal de filme reprovado em 2011.

Rótulos de Linha	FILMES REPROVADOS	FILMES TOTAIS	%
Jan-11	26	296	8,7%
Fev-11	35	139	25,1%
Mar-11	0	24	0,0%
Abr-11	67	459	14,6%
Mai-11	41	409	10,0%
Jun-11	7	48	14,5%
Jul-11	7	47	14,8%
Ago-11	9	119	7,5%
Set-11	21	175	12,0%
Out-11	19	108	17,5%
Nov-11	16	145	11,0%
Dez-11	30	216	13,8%
Total Geral	278	2185	12,7%

Fonte: Autor (2011).

Figura 50 – Representa o percentual mensal de filmes reprovados em 2011.



Fonte: autor (2011)

4.2.3 Percentual mensal de Juntas Reprovadas em 2011

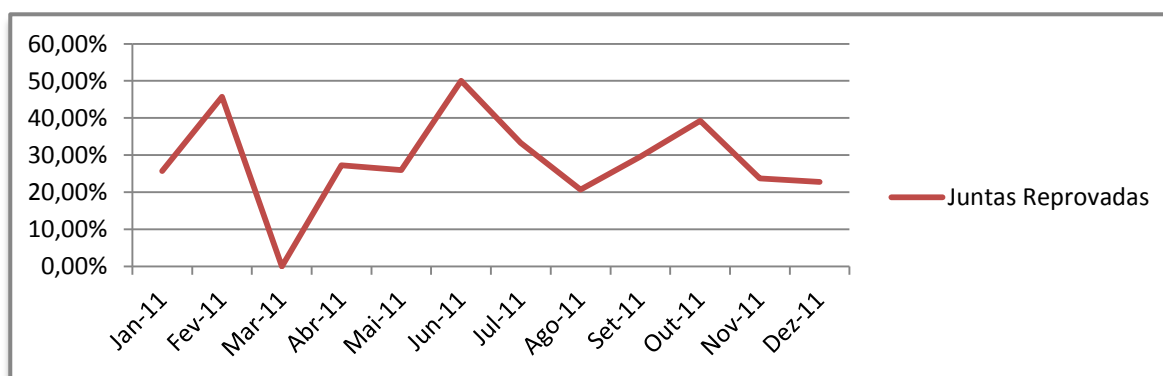
A tabela 16 apresenta o percentual mensal de juntas soldadas, inspecionadas e reprovadas em 2011. Houve uma variação acentuada no índice de reprovação com média anual de 28%, onde fica registrado melhora em relação a 2010 que foi de 40%.

Tabela 16 – Apresenta o percentual mensal das juntas soldadas, inspecionadas e reprovadas por gamagrafia em 2011.

Rótulos de Linha	AP	RP	Total Geral	%
Jan-11	55	19	74	25,7%
Fev-11	19	16	35	45,7%
Mar-11	6		6	0,0%
Abr-11	88	33	121	27,3%
Mai-11	77	27	104	25,9%
Jun-11	6	6	12	50,0%
Jul-11	8	4	12	33,3%
Ago-11	23	6	29	20,7%
Set-11	31	13	44	29,5%
Out-11	17	11	28	39,3%
Nov-11	29	9	38	23,7%
Dez-11	44	13	57	22,8%
Total Geral	403	157	560	28,0%

Fonte: Autor (2011).

Figura 51 – Índice de reprovação das juntas soldadas em 2011.



Fonte: Autor (2011).

Comparando-se os resultados obtidos em 2011 em relação ao índice de juntas reprovadas em 2010, verificou-se que houve uma melhora significativa.

4.3 RELATÓRIO DE GAMAGRAFIA 2012

No período de 2012, desenvolveu-se novamente através dos relatórios radiográficos e da tabela de controle de junta soldada, novos gráficos contendo a mesma semelhança dos realizados em 2010 e 2011, objetivando a continuidade da visualização dos resultados após a aplicação de melhorias.

Tabela 17 – Apresenta 1º relatório de radiografia em 2012.

		RELATÓRIO DE ENSAIO RADIOGRÁFICO				No. 001/12				
FOLH A. 1/1						Nº QT 001				
DATA EMISSÃO						03.01.12				
IDENTIFICAÇÃO										
CLIENTE:				OM: 9397060		DATA TESTE 02.01.12				
OBRA CONTRATO: FORNO BA-4109				LOCALIZAÇÃO: FORNO BA-4109						
FABRICANTE / MONTADORA:				CONDIÇÕES SUPERFICIAIS: ESCOVADO						
CATEGORIA DE SERVIÇO: CÍCLICA SEVERA										
CONDIÇÕES RADIOGRÁFICAS										
PROC. DE ENSAIO: Nº / REVISÃO.		PT-RG-06 REV. 6		METAL BASE: HK-40		METAL DE ADIÇ. 35/45				
NORMA DE REF.: ASME B 31.3		PROC. DE SOLDA: -		TÉCNICA DE EXPOSIÇÃO: PD - VS						
PARÂMETROS	Nº FONTE	CORRENTE	FOCO	APARELHO	IQI	FIO ESSENCIAL				
GAMAGRAFIA	-	-	-	-	FE EN	12				
TIPO DE FONTE	Nº FONTE	ATIVIDADE	FOCO	IRRADIADOR	ECRANS	FILME				
IRÍDIO 192	6344	7,36Ci	3,0x2, 0mm	327	Pb 0.005" E 0.010"		CLASSE I			
Nº.: ITEM	IDENTIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO	MATERI AL	JUNTA	POSIÇÃO	DIÂMETRO	ESP. (MM)	DEFEITOS	RESULT. A	R	SOLDADO R
01	BA 4109 PASSE 5	HK-40	S 2A	01	3"	7,62	N	X		27/27
02	BA 4109 PASSE 5	HK-40	S 2A	02	3"	7,62	N	X		27/27
03	BA 4109 PASSE 5	HK-40	S 2A	03	3"	7,62	N	X		27/27
04	BA 4109 PASSE 5	HK-40	S 2A	04	3"	7,62	N	X		27/27
SIMBOLOGIA										
N - SEM DESCONTINUIDADE		B - POROSIDADE		DEC - EX. COMPLEMENTAR		RC - RECHUPE DE CRÁTERA		CN - CONCAVIDADE		
S - INCLUSÃO DE ESCORIA		L - FALTA DE FUSÃO		I - PENETRAÇÃO INCOMPLETA		U - MORDEDURA		C - TRINCA		
P - PERF. / CRÁTERA		H - PASSE OCO		EP - EXC. DE PENETRAÇÃO		IT - INCLUSÃO DE TUNGSTÊNIO		IO - INCLUSÃO DE ÓXIDO		
								IA - INDICAÇÃO ALONGADA		
OBS:										
DATA 03.01.12		DATA				DATA				
JUSSIMAR CORREIA DOS REIS ER-N2-S-RG - SNQC / END 0680								CLIENTE / FISCALIZAÇÃO		

Fonte: Autor (2012), conforme Norma 1595d (2004).

A Tabela 18 – abaixo apresenta o ultimo relatório de radiografia incluso na avaliação deste trabalho.

		RELATÓRIO DE ENSAIO RADIOGRÁFICO				No. 008/12				
						FOLH A. 1/1	Nº QT 012			
						DATA EMISSÃO 27.09.12				
IDENTIFICAÇÃO										
CLIENTE :				OM: 9485951	DATA TESTE 26.09.12					
OBRA CONTRATO: FORNO BA-4108				LOCALIZAÇÃO: FORNO BA-4108						
FABRICANTE / MONTADORA:				CONDIÇÕES SUPERFICIAIS : ESCOVADO						
CATEGORIA DE SERVIÇO: CÍCLICA SEVERA										
CONDIÇÕES RADIOGRÁFICAS										
PROC. DE ENSAIO: Nº / REVISÃO.		PT-RG-06 REV. 7	METAL BASE: 321 / P11		METAL DE ADIÇ. ER NiCr-3					
NORMA DE REF.: ASME B 31.3		PROC. DE SOLDA: TIG		TÉCNICA DE EXPOSIÇÃO: PD - VS						
PARÂMETROS	Nº FONTE	CORRENTE	FOCO	APARELHO	IQI		FIO ESSENCIAL			
GAMAGRAFIA	-	-	-	-	FE EN		12			
TIPO DE FONTE	Nº FONTE	ATIVIDADE	FOCO	IRRADIADOR	ECRANS		FILME			
IRÍDIO 192	6743	5,57Ci	3,0x2,0mm	S-3973	Pb 0.005" E 0.010"		CLASSE I			
Nº. ITEM	IDENTIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO	MATERIA L	JUNT A	POSIC AO	DIÂMET RO	ESP. (MM)	DEFEITOS	RESULT.		SOLDAD OR
								A	R	
01	JUMP-OVER / DSH 02 PASSE 01	321 / P11	B 1	01	4"	9,5	N	X		37 / 37
02	JUMP-OVER / DSH 02 PASSE 01	321 / P11	B 1	02	4"	9,5	N	X		37 / 37
03	JUMP-OVER / DSH 02 PASSE 01	321 / P11	B 1	03	4"	9,5	N	X		37 / 37
04	JUMP-OVER / DSH 02 PASSE 01	321 / P11	B 1	04	4"	9,5	N	X		37 / 37
05	JUMP-OVER / DSH 02 PASSE 02	321 / P11	B 2	01	4"	9,5	CN	X		37 / 37
06	JUMP-OVER / DSH 02 PASSE 02	321 / P11	B 2	02	4"	9,5	N	X		37 / 37
07	JUMP-OVER / DSH 02 PASSE 02	321 / P11	B 2	03	4"	9,5	N	X		37 / 37
08	JUMP-OVER / DSH 02 PASSE 02	321 / P11	B 2	04	4"	9,5	N	X		37 / 37
09	JUMP-OVER / DSH 02 PASSE 03	321 / P11	B 3	01	4"	9,5	B	X		37 / 37
10	JUMP-OVER / DSH 02 PASSE 03	321 / P11	B 3	02	4"	9,5	B	X		37 / 37
11	JUMP-OVER / DSH 02 PASSE 03	321 / P11	B 3	03	4"	9,5	B	X		37 / 37
12	JUMP-OVER / DSH 02 PASSE 03	321 / P11	B 3	04	4"	9,5	B	X		37 / 37
13	JUMP-OVER / DSH 02 PASSE 04	321 / P11	B 4	01	4"	9,5	N	X		37 / 37
14	JUMP-OVER / DSH 02 PASSE 04	321 / P11	B 4	02	4"	9,5	B	X		37 / 37
15	JUMP-OVER / DSH 02 PASSE 04	321 / P11	B 4	03	4"	9,5	N	X		37 / 37
16	JUMP-OVER / DSH 02 PASSE 04	321 / P11	B 4	04	4"	9,5	N	X		37 / 37
SIMBOLOGIA										
N - SEM DESCONTINUIDADE		B - POROSIDADE		DEC - EX. COMPLEMENTAR		RC - RECHUPE DE CRATERA		CN - CONCAVIDADE		
S - INCLUSÃO DE ESCORIA		L - FALTA DE FUSÃO		I - PENETRAÇÃO INCOMPLETA		U - MORDEDURA		C - TRINCA		
P - PERF. / CRATERA		H - PASSE OCO		EP - EXC. DE PENETRAÇÃO		IT - INCLUSÃO DE TUNGSTÊNIO		IO - INCLUSÃO DE ÓXIDO IA - INDICAÇÃO ALONGADA		
OBS:										
DATA		DATA				DATA				
27.09.12						CLIENTE / FISCALIZAÇÃO				
JUSSIMAR CORREIA DOS REIS ER-N2-S-RG-SNQC / END 0680										

Autor (2012), conforme Norma 1595d (2004).

4.4 CONTROLE DE JUNTAS SOLDADAS E INSPECIONADAS POR GAMAGRAFIA EM 2012.

A tabela 19 apresenta o controle de juntas soldadas e inspecionadas por gamagrafia em 2012.

Tabela 19 – Apresenta o controle de juntas soldadas e inspecionada por gamagrafia em 2012.

1	DATA	MÊS	FORNO	ENSAIO	IDENTIFICAÇÃO DA PEÇA	JUNTA	FILMES TOTAIS	FILMES REPROVADOS	MATERIAL BASE	ESP (mm)	DIAM (pol)	SINETE OESTE	SINETE LESTE	METAL DE ADIÇÃO	LAUDO	DEFEI TO 1	DEFEI TO 2	DEFEI TO 3	DEFEI TO 4	DEFEI TO 5
2	02/01/2012	Jan-12	BA-4109	RX	Passe 05	S 2A	4	0	HK-40	7,62	3	27	27	35/45	AP					
3	04/01/2012	Jan-12	BA-4109	RX	Passe 05	S 2B	4	0	HK-40	7,62	3	27	27	35/45	AP					
4	04/01/2012	Jan-12	BA-4109	RX	Passe 05	S 7A	4	3	HK-40	7,62	3	32	33	35/45	RP	FF	FF	FF		
5	04/01/2012	Jan-12	BA-4109	RX	Passe 05	S 7B	4	1	HK-40	7,62	3	23	23	35/45	RP	FF				
6	04/01/2012	Jan-12	BA-4109	RX	Passe 05	E 3B1	4	0	HK-40	5,54	2	32	33	25/35	AP					
7	04/01/2012	Jan-12	BA-4109	RX	Passe 05	S 7A NT	4	0	HK-40	7,62	3	4	4	35/45	AP					
8	04/01/2012	Jan-12	BA-4109	RX	Passe 05	S 7B NR	4	0	HK-40	7,62	3	27	27	35/45	AP					
9	01/02/2012	Fev-12	BA-4107	RX	Passe 02	S 7A	4	0	HK-40	7,62	3	26	26	25/35	AP					
10	01/02/2012	Fev-12	BA-4107	RX	Passe 02	S 7B	4	1	HK-40	7,62	3	23	23	25/35	RP	FF				
11	01/02/2012	Fev-12	BA-4107	RX	Passe 06	S 1A	4	3	HK-40	7,62	3	23	23	25/35	RP	TR	TR	IA		
12	01/02/2012	Fev-12	BA-4107	RX	Passe 06	S 1B	4	0	HK-40	7,62	3	4	4	25/35	AP					
13	01/02/2012	Fev-12	BA-4107	RX	Passe 06	S 4B	4	0	HK-40	7,62	3	27	27	25/35	AP					
14	03/02/2012	Fev-12	BA-4107	RX	Passe 06	S 1A.1	4	1	HK-40	7,62	3	27	27	25/35	RP	PO	IA			
15	03/02/2012	Fev-12	BA-4107	RX	Passe 06	S 4A	4	1	HK-40	7,62	3	23	23	25/35	RP	PO	FF			
16	03/02/2012	Fev-12	BA-4107	RX	Passe 02	S 1B	4	0	HK-40	7,62	3	4	4	25/35	AP					
17	03/02/2012	Fev-12	BA-4107	RX	Passe 02	S 7B NT	4	0	HK-40	7,62	3	4	4	25/35	AP					
18	03/02/2012	Fev-12	BA-4107	RX	Passe 06	S 1A.1 NR	4	2	HK-40	7,62	3	27	27	25/35	RP	IA	IA			
19	03/02/2012	Fev-12	BA-4107	RX	Passe 06	S 4A NR	4	0	HK-40	7,62	3	23	23	25/35	AP					
20	06/02/2012	Fev-12	BA-4107	RX	Passe 02	S 1A	4	0	HK-40	7,62	3	27	23	25/35	AP					
21	06/02/2012	Fev-12	BA-4107	RX	Passe 02	S 7A1	4	0	HK-40	7,62	3	24	24	25/35	AP					
22	08/02/2012	Fev-12	BA-4107	RX	Rec-157817	4	5	0	P-22	11,12	3	23	23	ER 90S-B3	AP					
23	25/02/2012	Fev-12	BA-4108	RX	BW-4108 F3A	1	4	0	A-106	5,5	2	33	33	ER 70S3	AP					
24	29/02/2012	Fev-12	BA-1105	RX	Passe 01	SG 1	4	0	HK-40	5,49	3	26	26	25/35	AP					
25	29/02/2012	Fev-12	BA-1105	RX	Passe 05	EA 1	4	0	HK-40	7	5	26	33	35/45	AP					
26	01/03/2012	Mar-12	BA-1105	RX	Passe 06	ED 3	4	2	HK-40	5,5	4	26	33	25/35	RP	CO	B	B		
27	03/03/2012	Mar-12	BA-1105	RX	Passe 03	SH 1	4	0	HK-40	5,49	3	27	27	35/45	AP					
28	03/03/2012	Mar-12	BA-1105	RX	Passe 05	EB 3	4	0	HK-40	7	5	32	33	35/45	AP					
29	03/03/2012	Mar-12	BA-1105	RX	Passe 06	ED 3 NT	4	0	HK-40	5,5	4	26	33	35/45	AP					
30	04/03/2012	Mar-12	BA-1105	RX	Passe 01	SG 3	4	0	HK-40	5,49	3	27	27	35/45	AP					
31	04/03/2012	Mar-12	BA-1105	RX	Passe 03	SH 3	4	0	HK-40	5,49	3	13	13	35/45	AP					

Fonte: Autor (2012).

4.4.1 Defeitos que levaram as Juntas a Serem Reprovadas em 2012

A quantidade dos tipos de defeitos que reprovaram as juntas foram adquiridos através do somatório individual de todos os defeitos existentes na planilha de junta soldada. A tabela 20 apresenta o resumo dos defeitos que levaram as juntas a serem reprovadas em 2012.

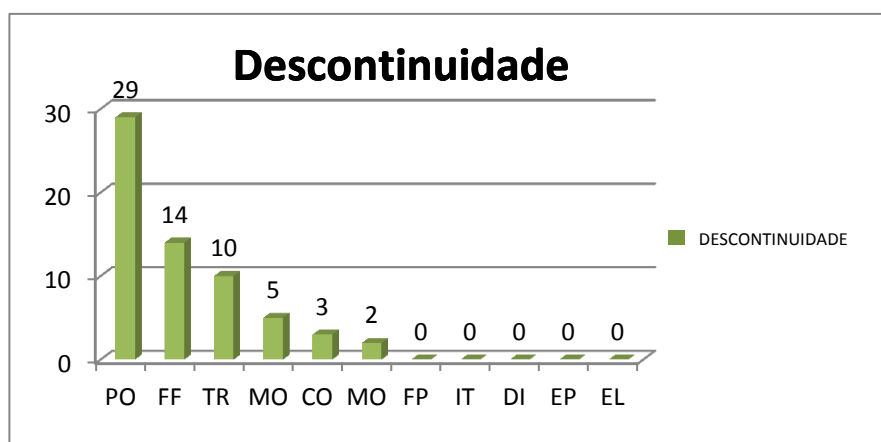
Tabela – 20 Tipo e quantidade de defeito que levaram as juntas serem reprovadas em 2012.

TIPOS DE DEFEITO	D1	D2	D3	D4	D5	TOTAL
PO POROSIDADE	19	6	3	1	0	29
IA INCLUSÃO DE ALONGADA	1	1	0	0	0	2
CO CONCAVIDADE	1	1	1	0	0	3
TR TRINCA	6	3	1	0	0	10
MO MORDEDURA	4	1	0	0	0	5
FF FALTA DE FUSÃO	9	3	2	0	0	14
FP FALTA DE PENETRAÇÃO	0	0	0	0	0	0
IT INCLUSÃO DE TUNGSTÊNIO	0	0	0	0	0	0
DI DEPÓSITO INSUFICIENTE	0	0	0	0	0	0
EP EXCESSO DE PENETRAÇÃO	0	0	0	0	0	0
EL ENTALHE DE LIXADEIRA	0	0	0	0	0	0

Fonte: Autor

A figura 52 mostra o tipo e a quantidade de defeitos que reprovaram as juntas em 2012, contribuindo para corrigir os defeitos mais impactantes.

Figura 52 – Apresenta os defeitos que reprovou as juntas em 2012.



Fonte: Autor (2012).

4.4.2 Percentual Mensal de Filmes Reprovadas em 2012

A tabela 21 apresenta o percentual mensal da quantidade de filmes reprovados em 2012.

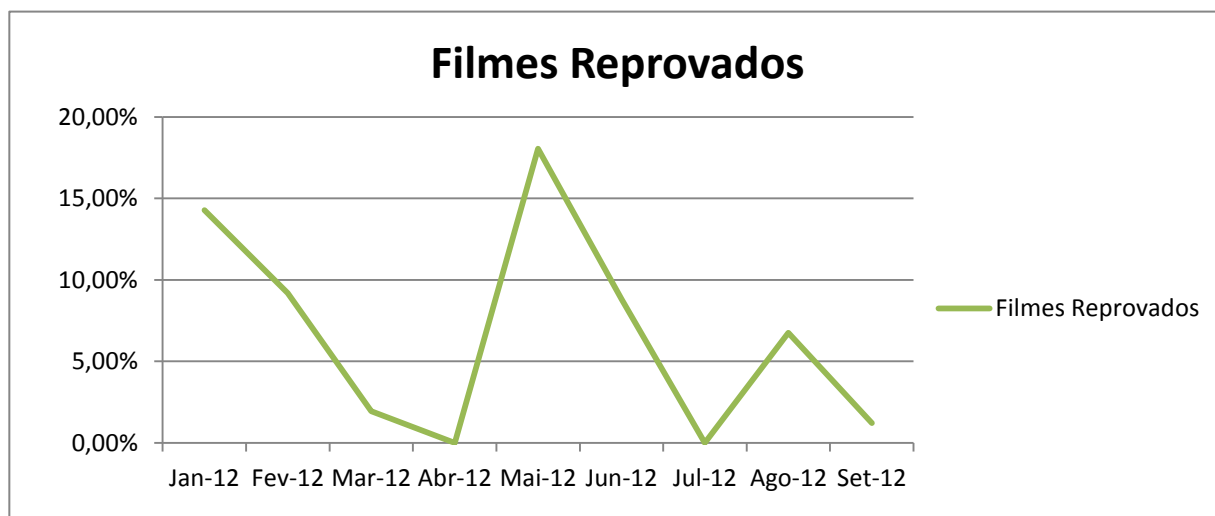
Tabela – 21, apresenta o percentual mensal dos filmes reprovados em 2012.

Rótulos de Linha	FILMES REPROVADOS	FILMES TOTAIS	%
Jan-12	4	28	14,3%
Fev-12	8	87	9,2%
Mar-12	4	205	1,9%
Abr-12	0	4	0,0%
Mai-12	13	72	18,1%
Jul-12	18	204	8,8%
Jun-12	0	2	0,0%
Ago-12	5	74	6,7%
Set-12	1	82	1,2%
Total Geral	53	758	6,6%

Fonte: Autor (2012)

A figura 53 apresenta o percentual mensal de filmes reprovados em 2012.

Figura 53 – Representa o percentual mensal dos filmes reprovados em 2012.



Fonte: Autor (2012).

4.4.3 Percentual de Mensal de Juntas Reprovadas em 2012.

A tabela 22 apresenta o percentual mensal das juntas soldadas, inspecionadas e reprovadas por gamagrafia.

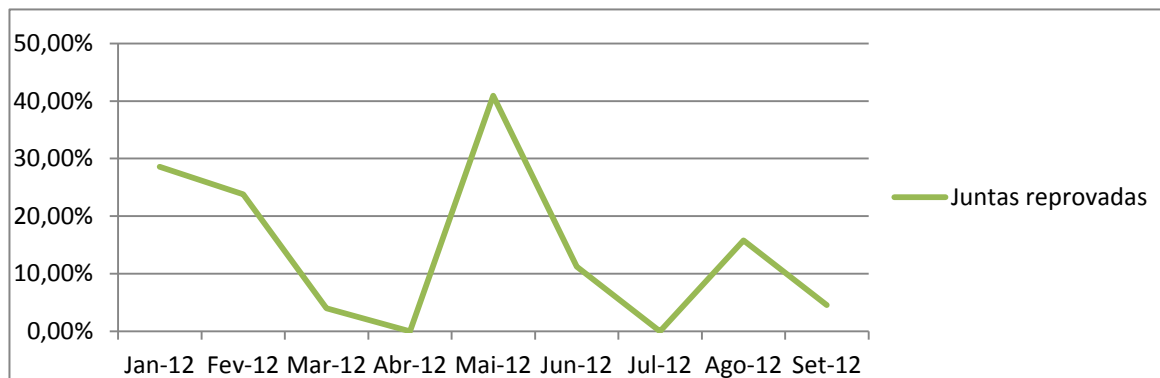
Tabela 22 – Apresenta o percentual das juntas soldadas, inspecionadas e reprovadas por gamagrafia em 2012.

Rótulos de Linha	AP	RP	Total Geral	%
Jan-12	5	2	7	28,6%
Fev-12	16	5	21	23,8%
Mar-12	48	2	50	4,0%
Abr-12	1		1	0,0%
Mai-12	13	9	22	40,9%
Jul-12	87	11	98	11,2%
Jun-12	1		1	0,0%
Ago-12	16	3	19	15,8%
Set-12	21	1	22	4,5%
Total Geral	208	33	241	14,3%

Fonte: Autor (2012).

A figura 54 representa o percentual mensal das juntas inspecionadas e reprovadas por radiografia.

Figura 54 – Apresenta o percentual das juntas soldadas, inspecionadas e reprovadas em 2012.



Fonte: Autor (2012).

4.5 PROBLEMAS OBSERVADOS

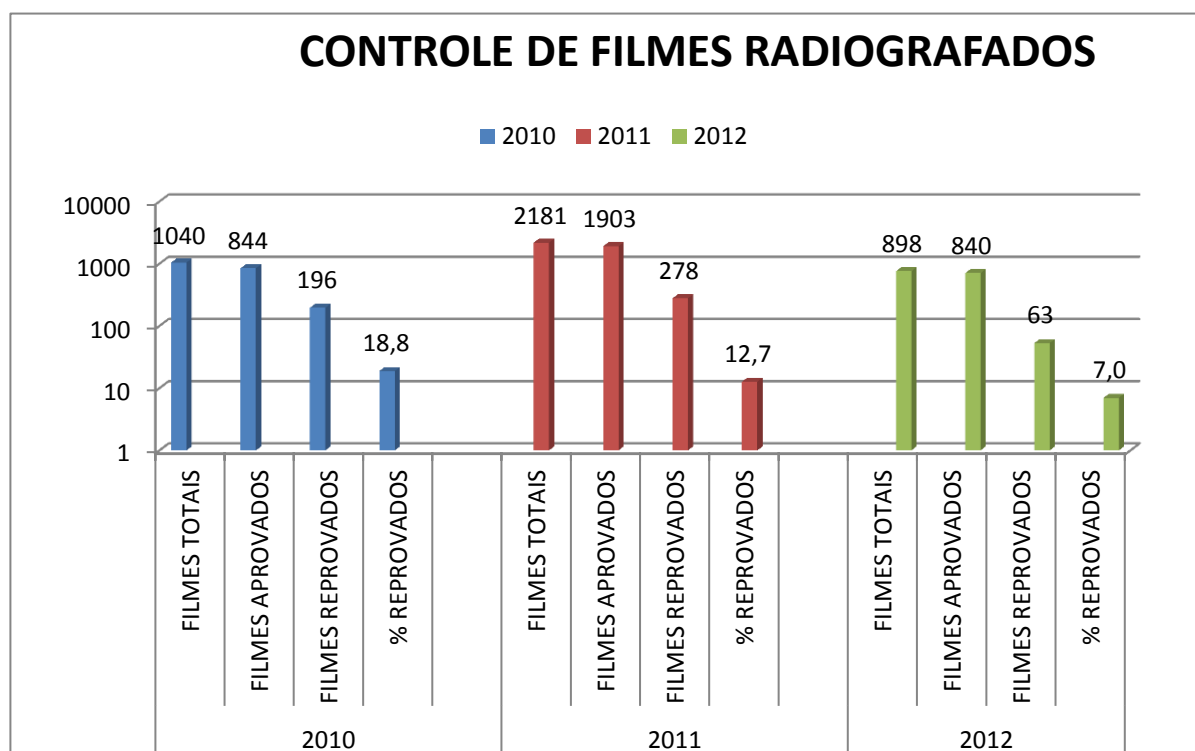
Como a soldagem é uma atividade extremamente correlacionada com a habilidade do soldador, percebeu-se que a questão motivacional é um fator importante para diminuir o índice de reprovação. Desta forma, mesmo diminuindo o índice de reparo anual através da melhoria do sistema de qualidade existente e do controle de perto do desempenho dos soldadores, percebeu-se que ainda há uma oscilação mensal relevante dos resultados.

5 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS 2010 – 2012

Com o propósito de apresentar uma visualização prática da problemática em estudo, dos objetivos bem como das hipóteses apresentadas, será demonstrado nos gráficos 55, 56 e 57 a comparação evolutiva dos resultados alcançados em 2011 e 2012, tendo como referência o ano de 2010.

5.1 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DOS FILMES RADIOGRAFADOS DE 2010 A 2012.

Figura 55 – Comparativo dos filmes radiografados em 2010 a 2012.



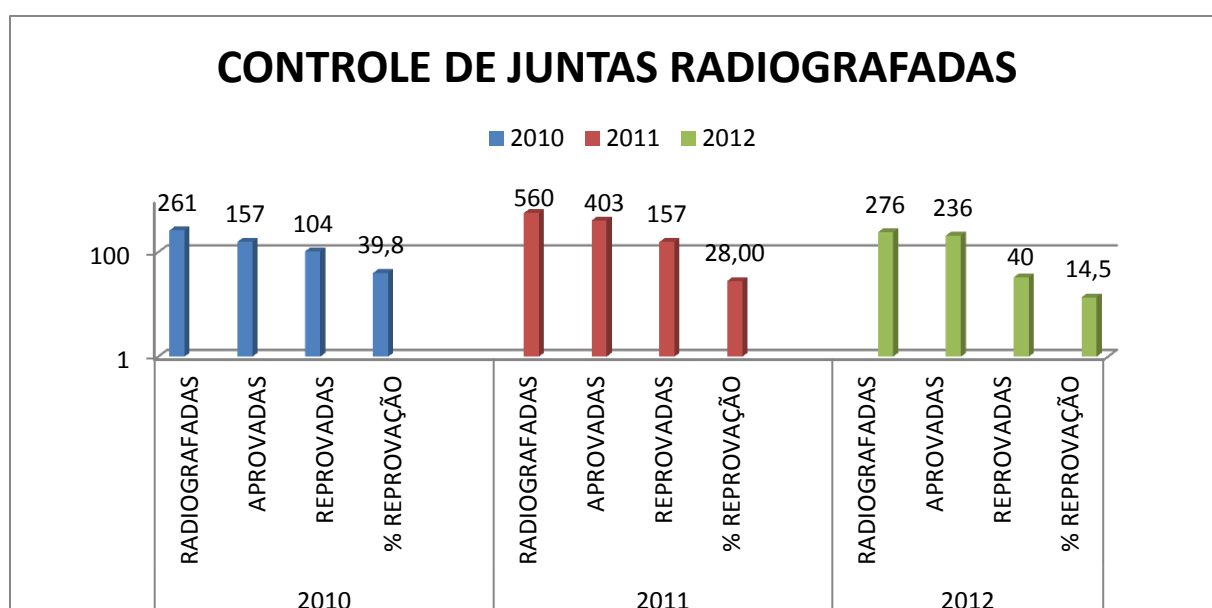
Fonte: Autor (2012).

Através de uma análise do índice do percentual de filmes reprovados, fica identificado que houve redução consecutiva entre 2010 e 2012, comprovando resultado positivo após aplicação de melhorias.

5.2 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DAS JUNTAS RADIOGRAFADAS DE 2010 A 2012

Com a implantação das ações no ano de 2011, começou-se a medir os resultados, tendo como referência o índice de reparo de juntas no ano de 2010 de 39,8%. A partir disso, passou para 28,0% em 2011 e para 14,5%, em 2012. A Figura 72 mostra a evolução da redução no índice de reparo, bem como o total de juntas radiografadas e reprovadas no período avaliado.

Figura 56 – Evolução do número de juntas executadas totais, juntas reprovada e índice de reparo médio anual (RP%) nos anos de 2010 a 2012

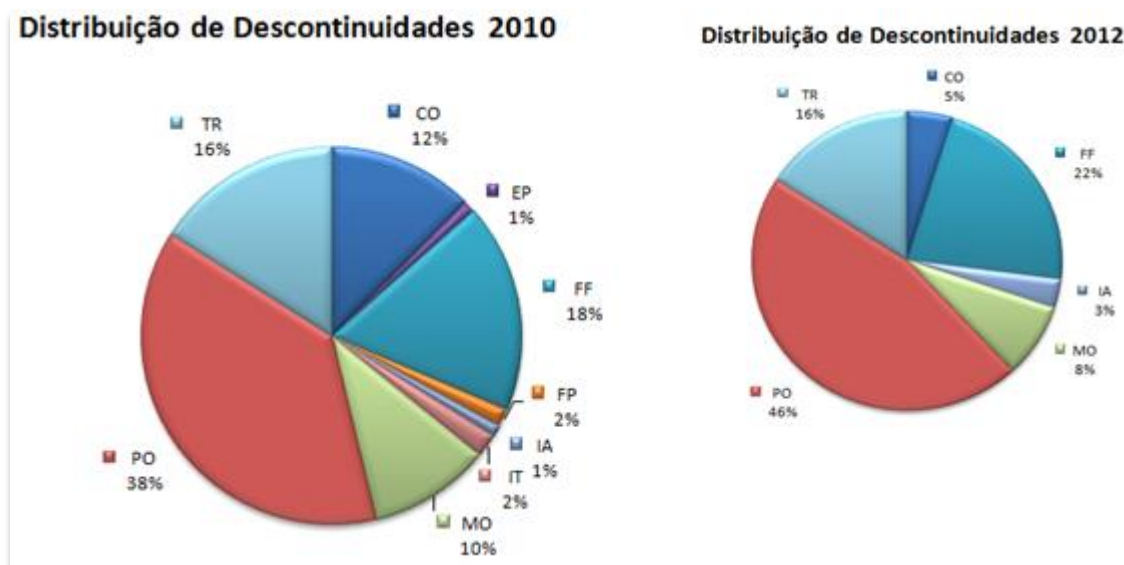


Fonte: Autor (2012)

5.3 COMPARATIVO DOS DEFEITOS QUE TORNARAM OS FILMES REPROVADOS DE 2010 A 2012

Em relação à evolução dos tipos de discontinuidades encontradas, percebeu-se em 2012 que as discontinuidades de porosidade e de falta de fusão continuaram sendo as mais frequentes.

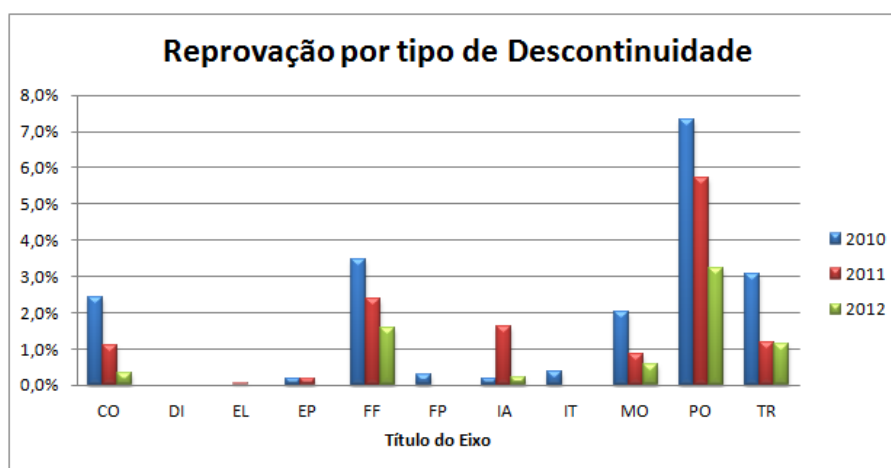
Figura 57 – Distribuição de descontinuidades detectadas no ano de 2010 e 2012.



Fonte: Autor

Certificou-se através da figura 57 que, ao avaliar a quantidade de filmes reprovados em 2010 e 2012, por porosidade, pelos filmes totais executados, que houve evolução no tratamento desta descontinuidade.

Figura 58 – Comparativo de defeitos que tornaram as juntas radiografadas reprovadas em 2010 a 2012.



Fonte: Autor (2012).

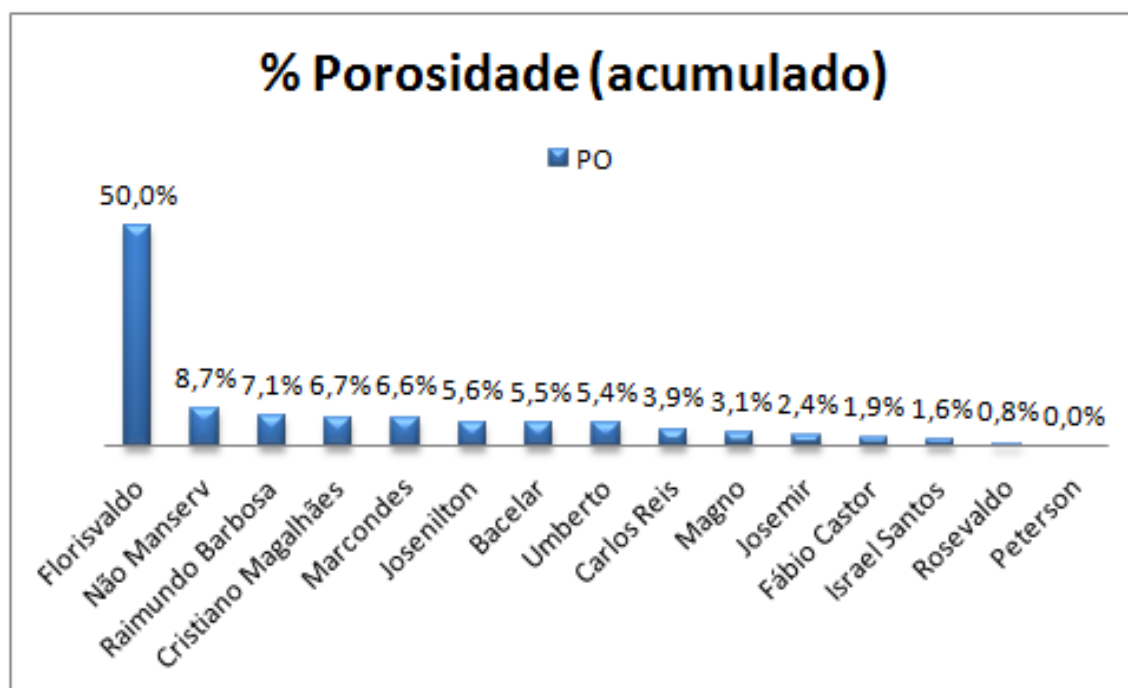
Em 2010 foram batidos 1040 filmes sendo que 76 foram reprovados por porosidades (7,3%). Em 2012 foram batidos 894 filmes com 29 reprovações, o que corresponde a 3,2% (vide figura 71).

Todas as outras discontinuidades também tiveram evolução na redução de reprovações, inclusive algumas deixaram de existir, como falta de penetração, excessos de penetração, depósito insuficiente de material, inclusão de tungstênio e entalhe de lixadeira, conforme pode ser observado na figura 71.

5.4 ANÁLISE DOS PRINCIPAIS DEFEITOS POR SOLDADOR DE 2010 A 2012

Para tratar especificamente com cada soldador as causas que levaram as juntas à reprovação, bem como identificar detalhadamente o desempenho dos soldadores em relação aos tipos de defeitos que estes causavam, desenvolveram-se os gráficos 59, 60, 61, 62 e 63. Desta forma foi possível realizar treinamentos específicos focados nas deficiências de cada soldador. A figura 59: Mostra o índice de reprovação aculado dos soldadores por poro.

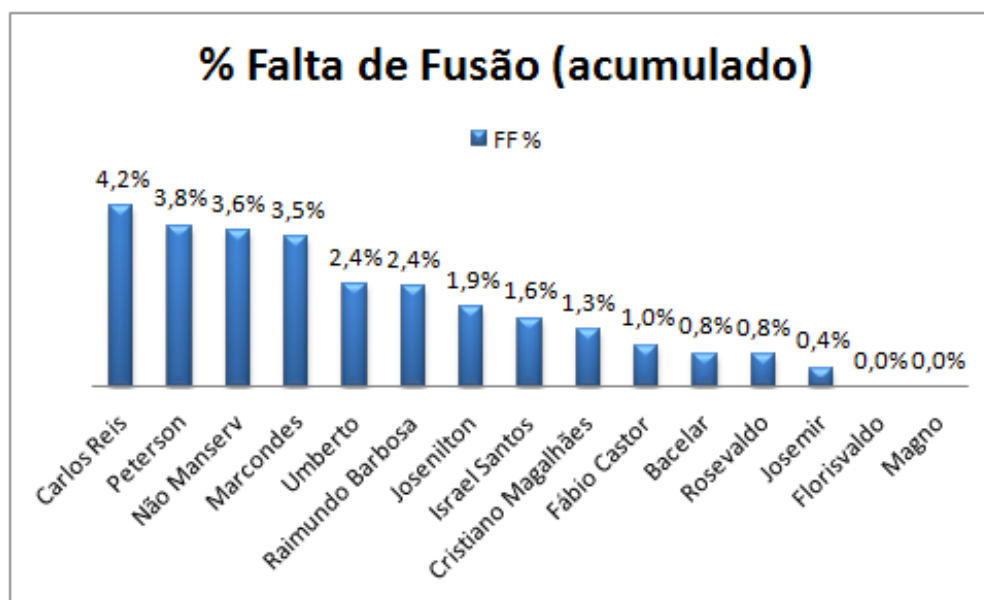
Figura 59 – Índice acumulado de reprovação por porosidade.



Fonte: Autor.

A figura 60 possibilita verificar o índice de reprovação aculado dos soldadores por falta de fusão.

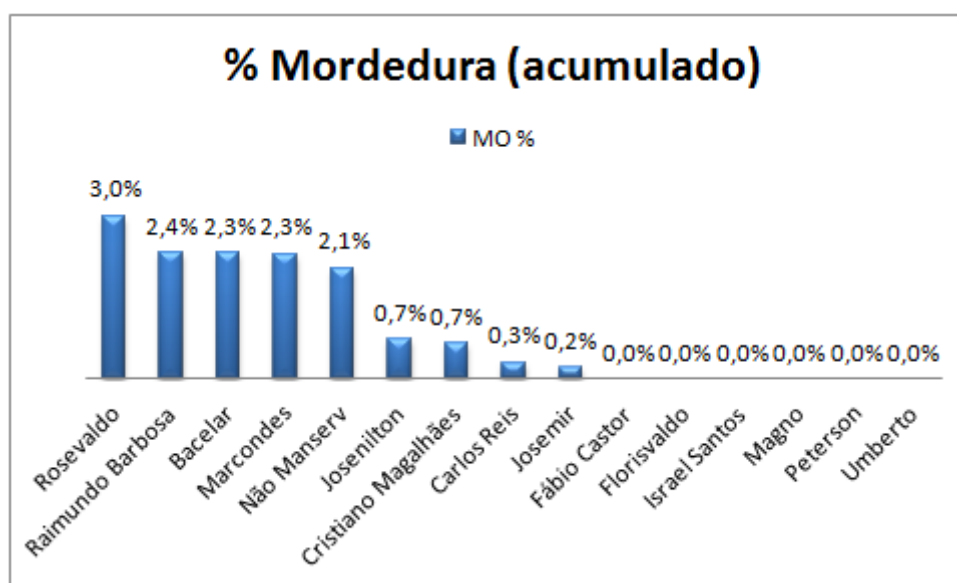
Figura 60 – Índice acumulado de reprovação por falta de fusão.



Fonte: Autor.

A figura 61 apresenta o índice de reprovação acumulado dos soldadores por mordedura.

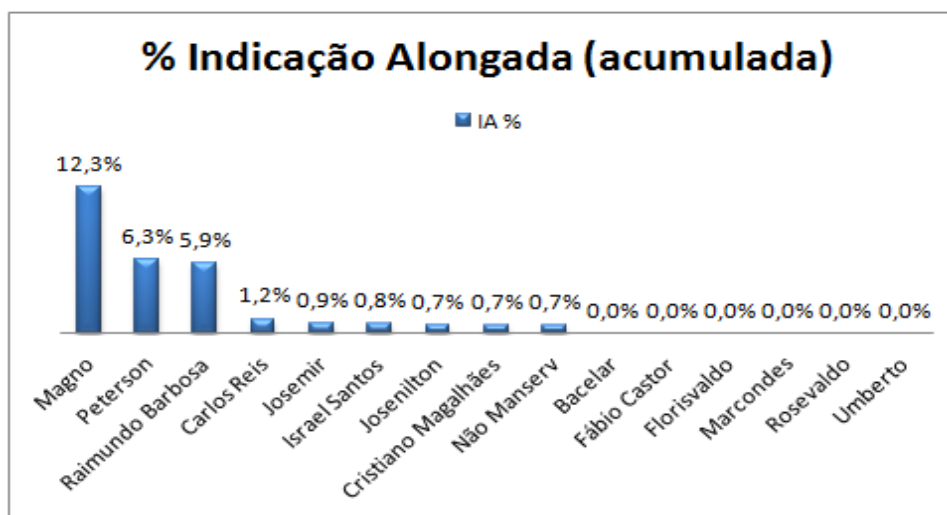
Figura 61 – Índice acumulado de reprovação por mordedura.



Fonte: Autor.

A figura 62 possibilita verificar o índice de reprovação cumulado dos soldadores por indicação alongada. A indicação alongada é uma descontinuidade definida pela norma ASME, como uma indicação onde o seu comprimento é superior a três vezes a sua largura

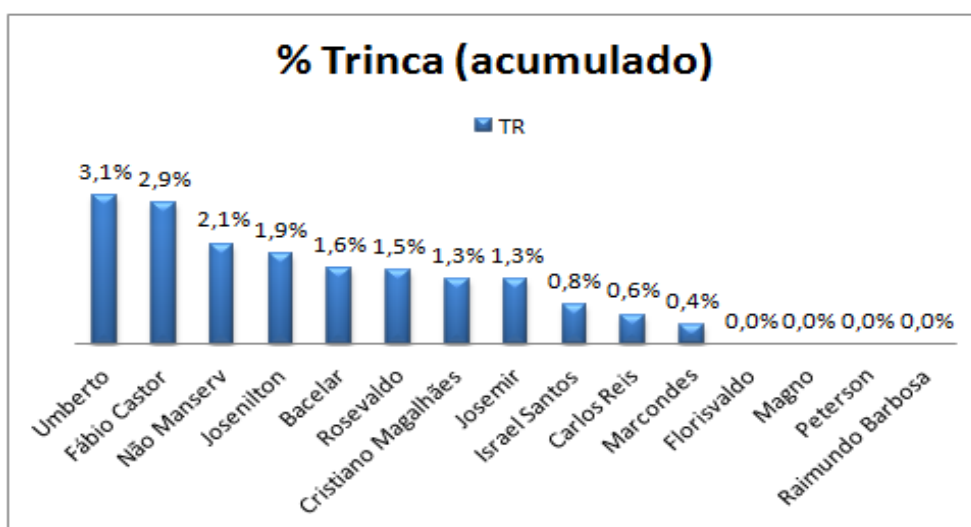
Figura 62 – Índice acumulado de reprovação por indicação alongada.



Fonte: Autor.

A figura 63 possibilita verificar o índice de reprovação cumulado dos soldadores por trinca, sendo que as trincas identificadas não têm correlação com o processo TIG nem com a habilidade do soldador, mas sim com o envelhecimento dos tubos.

Figura 63 – Índice acumulado de reprovação por trinca.

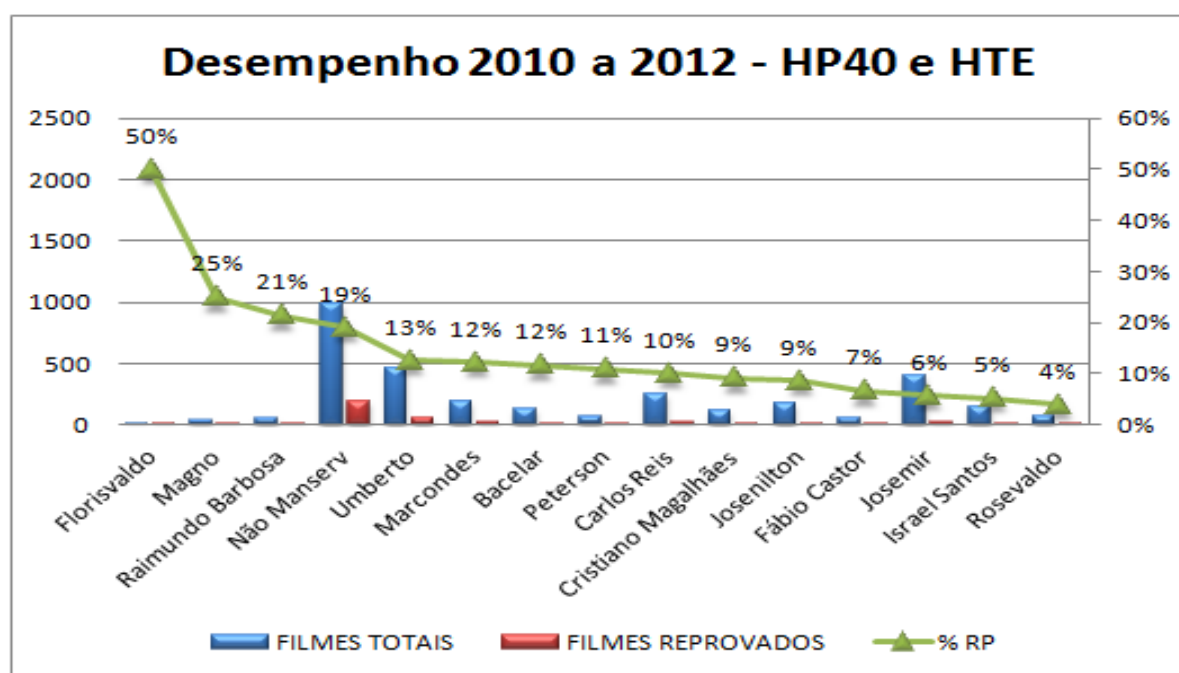


Fonte: Autor.

5.5 ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS SOLDADORES NA SOLDAGEM DAS LIGAS (HK 40 e HTE) NO PERÍODO DE 2010 A 2012.

A figura 64 apresenta o percentual de juntas reprovadas conforme o desempenho individual de cada soldador para as ligas HK 40 e HTE; estas ligas são consideradas de difícil soldabilidade.

Figura 64 – Apresenta índice de reprovação para liga HP 40 e HTE no período 2010 a 2012.

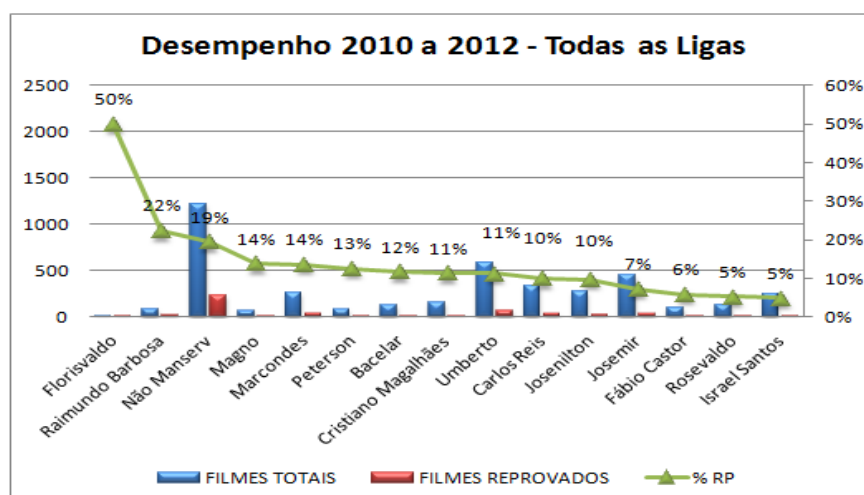


Fonte: Autor.

5.6 ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS SOLDADORES, LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO TODOS OS TIPOS DE LIGAS SOLDADAS NO PERÍODO DE 2010 A 2012.

A figura 65 apresenta o percentual de juntas reprovadas conforme o desempenho individual de cada soldador, tendo como referência todas as ligas soldadas no período de 2010 a 2012. Com estas informações torna-se mais fácil direcionar, para os serviços especiais, os soldadores com melhor índice de aproveitamento.

Figura 65 – Apresenta índice de reprovação para todas as ligas no período 2010 a 2012.

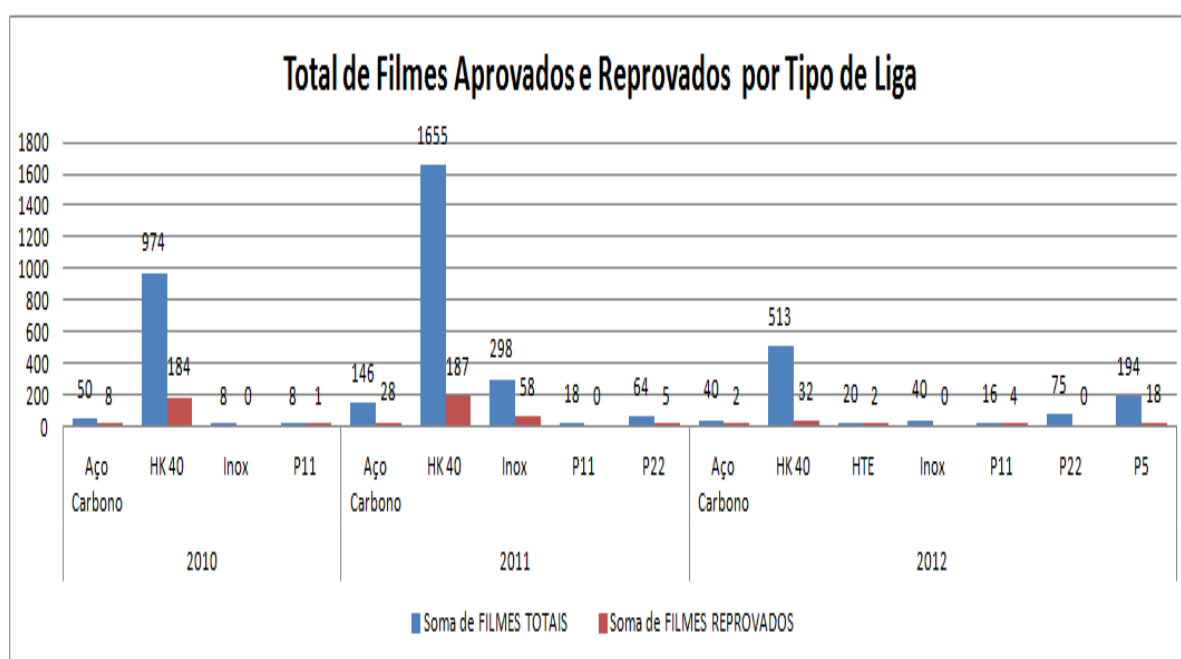


Fonte: Autor.

5.7 COMPARAÇÃO DOS FILMES APROVADOS E REPROVADOS POR TIPO DE LIGA NO PERÍODO DE 2010 A 2012.

As informações contidas na figura 66, permite visualizar no período de 2010 a 2012 a quantidade total de filmes aprovados e reprovados. Destaca-se também a liga HK 40 com maior quantidade de filmes inspecionado, onde concluímos um melhoramento no índice de reprovação de 19% em 2010 para 6% em 2012.

Figura 66 – Filmes aprovados e reprovados por liga.

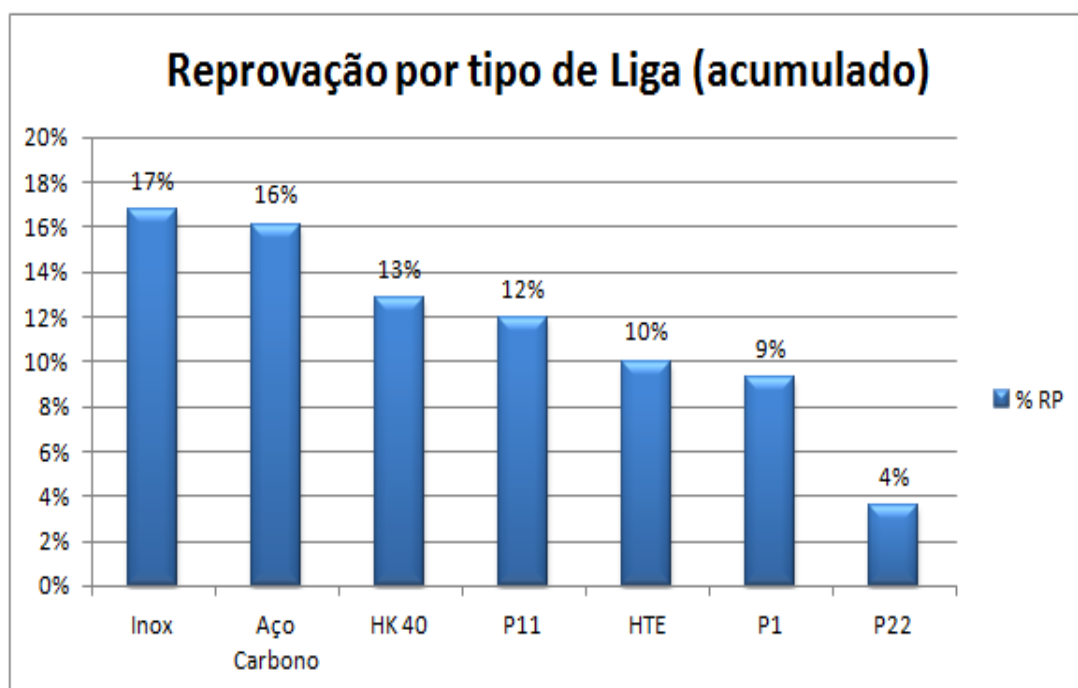


Fonte: Autor.

5.8 COMPARAÇÃO DO ÍNDICE DE REPROVAÇÃO POR TIPO DE LIGA NO PERÍODO DE 2010 A 2012.

Verifica-se na figura 67, abaixo o índice de filmes reprovados por tipo de liga, onde podemos constatar que o índice de reprovação tornou-se maior nas ligas conhecidas (aço inox e aço carbono). Estas ligas possuem maior facilidade de soldagem em relação às outras citadas. Diante do exposto observa-se que é necessário obter todos os cuidados ao realizar uma solda que deseja boa integridade.

Figura 67 – Índice de reprovação acumulo por tipo de liga (2010 a 2012).



Fonte: Autor.

Diante dos resultados apresentados nas Tabelas 2011 e 2012, verifica-se que os requisitos de melhorias proposto para fabricação de soldas de boa qualidade estão sendo praticados, contribuindo para diminuir os custos da empresa, tornando-a mais competitiva no mercado.

6. CONCLUSÕES

- Este trabalho consta de um estudo que foi feito em um período de 3 (três) anos, de 2010 a 2012, e que procurou eliminar ou controlar a ocorrência das descontinuidades ou defeitos nas soldas dos fornos em uma empresa petroquímica.
- Entre as diversas ligas soldadas no projeto, a que apresentou maiores dificuldades em realizar a soldagem foi a HK40, que possuía um índice de reprovação de 19% em 2010 e, no final do estudo em 2012, apresentou um índice de 6%.
- Os principais defeitos que reprovaram as juntas foram porosidade com 7,3% em 2010 e 3,2% em 2012; falta de fusão com 3,2% em 2010 e 1,5% em 2012; trinca com 3,2% em 2010 e 1,1% em 2012, situações que confirmam melhoria superior a 50%.
- Em 2010 existiam 9 (nove) tipos de defeitos que levaram as juntas a serem reprovadas; em 2012, existiram apenas 6 (seis) tipos de defeitos, firmando uma redução de 33%.
- O índice de juntas reprovadas foi reduzido de 39,8% em 2010, passou para 28% em 2011 e atingiu 14,5% em 2012.
- O índice de filmes reprovados foi reduzido em 18,8% em 2010, 12,7% em 2011 e 7,0% em 2012.
- O índice de reparo alcançado em 2012 possibilita a empresa situar-se dentro dos parâmetros aceitáveis de rejeição determinado pela norma ASME IX que é igual ou inferior a 10%.
- As reduções dos índices citados ocorreram após a identificação das falhas no processo de soldagem TIG e da aplicação de ações corretivas.

- Conclui-se, com este estudo, que através da aplicação de um sistema de gestão da qualidade em soldagem, foi possível adquirir melhorias significativas da imagem da empresa frente aos seus clientes, levando, desta forma, à prospecção de novos clientes no segmento petroquímico.

6.1 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se realizarem outros trabalhos desta natureza, pois são fundamentais para garantir a competitividade das empresas petroquímicas, principalmente no cenário atual de margens tão estreitas.

Com pretensão de minimizar o problema citado no escopo deste trabalho, deseja-se oferecer um avanço para cumprimento da fabricação e inspeção em solda, buscando adquirir maior produção em menor intervalo de tempo, através de progresso tecnológico como, por exemplo, a mecanização do processo de soldagem TIG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14842: Critérios para qualificação e certificação de Inspetores de Soldagem. Rio de Janeiro, 2003.
2. ANDREUCCI, R., "Radiologia Industrial", disponível na internet no site http://www.infosolda.com.br/andreucci_em_dez.2009.
3. ASM. Metals Handbook. Vol. 11. Failures Analysis and Prevision. 9ª Edição. USA:,1986.
4. BARRA, Sergio Rodrigues, PEREIRA, Aldo Santos. Descontinuidades em Soldagem. Trabalho de Pesquisa para pós-graduação. Florianópolis: UFSC 1999.
5. FBTS. Inspetor de Soldagem. Apostila. 3a Edição. Rio de Janeiro: FBTS, 1987.
6. JAN, Peter Groeteaas et al. COTEQ 2013 – 317, Quebrando Paradigmas na soldagem dos fornos de pirólise na Braskem, 2013.
7. LEITE, P. GP, "Curso de Ensaios Não Destrutivos", São Paulo, 8a Ed". Luminescent Imaging Plates", Journal of X-ray Science and Technology, vol. 6, pp.
8. LTC 1982 WAINER, E. ET AL. Soldagem – processos e metalurgia. São Paulo: Blucher, 1992.
9. LUNDIN, C. D. and PATRIARCA, C. R.. Assessment of the Significance of Weld Discontinuities: Effectes of Microstructure and Discontinuities upon Fracture Morphology. Artigo. New York: Welding Research Council, 1986.
10. MARQUES, P. V.. Tecnologia da soldagem. Livro. 1a Edição. Belo Horizonte: Editora O Lutador, 1991.
11. MARQUEZE, C. M. e QUITES, A. M.. Descontinuidades em Soldas. Apostila. 1a Edição. Florianópolis: Editado pelos autores, 1995.
12. MODENESI, Paulo J. Descontinuidade e inspeção em juntas de solda. Apostila. Belo Horizonte: UFMG 2001 ©The Lincoln Electric Co. Effect of welding variables. Usa: 2008.
13. N-1595d, Ensaio não destrutivo – Radiografia, Revisão E, Petróleo Brasileiro S.A., Janeiro 2004.
14. OKUMURA, T, Taniguchi. Engenharia de soldagem e aplicações. Rio de Janeiro: LTC 1982.

15. PALADINI, Edson P. Qualidade Total na Prática: implantação e avaliação de sistemas de qualidade total. São Paulo: Atlas, 1997.
16. QUITE, A. M.. Inspeção de junta soldada Apostila. Florianópolis: 1995.
17. PORT, R. D.. The Nalco Guide to Boiler Failure Analysis. Livro. 1ª Edição. USA: MacGraw-Hill, 1991.
18. RODRIGUES. C.M e PEREIRA, A.S. Descontinuidades em soldas. Trabalho de Pesquisa Florianópolis: Editado pelos autores, 1999.
19. SILVA, Ralpo. Radiografia Industrial Apostila 1ª Edição RJ, 2009.
20. SVENSSON, E. I.. Control of Microstructures and Properties in Steel Arc Welds. Livro. 1ª Edição. USA: CRC Press, 1994.
21. TOLEDO, José Carlos de. Qualidade industrial: conceitos, sistemas e estratégias. São Paulo: Atlas, 1997.
22. WAINER, E. ET AL. Soldagem – processos e metalurgia. São Paulo: Blucher, 1992.
23. WAINER, E. et al. Soldagem Processo e Metalurgia. Livro. 1ª Edição. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1995.
24. YIN, Robert K. Estudo de caso: Planejamento e métodos. São Paulo: Editora Bookman, 2005.