

Padronização de parâmetros de fabricação (soldagem) de tubos de aço carbono com solda longitudinal

Jailton Santos Vaz (UDESC) jailton_sbs@yahoo.com.br
Alexandre Borges Fagundes (UDESC) alexandre.fagundes@udesc.br
Delcio Pereira (UDESC) delcio.pereira@udesc.br
Fernanda Hänsch Beuren (UDESC) fernanda.beuren@udesc.br
Débora Barni de Campos (UDESC) debora.campos@udesc.br

Resumo:

Este artigo relata uma análise da produção de tubos de aço carbono com solda longitudinal na Empresa Tuper S.A. Estes tubos são utilizados na fabricação de auto e motopeças, máquinas agrícolas, caminhões e outros. São produtos que não podem apresentar defeitos de fabricação. Por isso, a liberação da produção, imediatamente após o setup, é bastante crítica, exigindo uma padronização de parâmetros de soldagem, a exemplo de valores de potência/frequência de solda e velocidade de máquina. O método de avaliação da qualidade da solda sempre será passível de melhoria contínua. Foram realizados acompanhamentos de processo e, em seguida, com base na coleta de amostras e realização de ensaios mecânicos e metalográficos, também foram elaborados relatórios e padrões visuais, para melhor avaliação dos defeitos de soldagem identificados. Esses padrões podem auxiliar na tomada de decisão, por parte dos Operadores das máquinas e Inspectores de Qualidade, quanto a liberar, ou não, o processo produtivo.

Palavras chave: Padronização, Parâmetros, Soldagem, Melhoria Contínua, Ensaios Metalográficos.

Standardization of manufacturing parameters (welding) of carbon steel pipes with a longitudinal weld

Abstract:

This paper reports an analysis of the production of carbon steel pipes with longitudinal weld in the Company Tuper S.A. These pipes are used in the manufacture of auto and motorcycle parts, agricultural machinery, trucks and others. These products may not have manufacturing defects. Therefore, the release of production, immediately after the setup is quite critical, requiring standardization of welding parameters, sample values of power / frequency welding and engine speed. The weld quality evaluation method will always be subject to continuous improvement. Process accompaniments were performed and then, based on the collection of samples and carrying out mechanical and metallographic tests, reports and visual patterns were prepared, for better evaluation of the identified welding defects. These patterns can assist in decision making, by the operators of the machines and Quality Inspectors, as the release or not the production process.

Key-words: Standardization, Parameters, Welding, Continuous Improvement, Metallographic Tests.

1. Introdução

A fabricação de tubos de aço carbono, com solda longitudinal, vem se apresentando como

uma alternativa viável, em relação ao custo de fabricação e, consequentemente, preço de venda, para os mercados consumidores.

Com a introdução de novas tecnologias de produção e aperfeiçoamento de métodos e processos, os tubos produzidos desta forma podem perfeitamente substituir os tubos de aço sem solda longitudinal, com resistência e precisão similar, para a maioria das aplicações (TUPER, 2015).

Vantagens como o baixo custo e o peso reduzido das peças tubulares fazem deste produto a primeira opção no momento da concepção dos projetos. Mas a concorrência acirrada na indústria automotiva submete os fabricantes de tubos de aço a novos desafios, uma vez que a exigência de características como elevadas conformabilidade e resistência mecânica estão se tornando cada vez mais comuns para este produto, que já foi considerado um *commodity* (PALOSCHI JÚNIOR, 2008, p.9).

Os tubos de aço sem solda longitudinal, obtidos por laminação, normalmente possuem uma característica peculiar no seu processo de fabricação, que é a de exigirem espessuras mais elevadas que os de outros processos. Por ser um processo à quente, também ocorrem variações dimensionais e de acabamento da superfície. Tudo isso exige operação de acabamento por usinagem (interna e externa) para solicitações mais precisas, o que onera o processo quando comparado a outros, para determinadas aplicações. Atualmente os tubos com solda longitudinal demandam das mesmas exigências técnicas que os seus concorrentes e utilizam alta tecnologia para permitir, em grande parte dos casos, maiores índices de resistência na região da solda do que no próprio aço. Alinhados a um excelente controle dimensional, acabamentos internos e externos de qualidade, os tubos com solda longitudinal tornaram-se ideais para diversos tipos de aplicações (TUPER, 2015). Destacam-se: máquinas agrícolas, caminhões, automóveis, motos, energia elétrica, eólica, condução de óleo, gás, vapor e outros fluidos (caldeiras), andaimes e construção civil em geral (TUPER, 2014).

Embora o processo seja bastante rigoroso, a ponto de garantir os valores especificados pelos clientes, com relação aos vários critérios de ensaios mecânicos e químicos, ainda existe um risco, não mensurado, de ocorrência de problemas de solda, na planta do cliente. Esses problemas são relacionados principalmente a falhas como: trincas na região da solda; trepidação do cordão soldado, que pode propiciar uma trinca, ou rompimento; “solda fria”, que normalmente só aparece quando o tubo é submetido à uma solicitação de grande esforço mecânico; solda fraca - problema este bastante confundido com solda fria - que também surge contra uma solicitação de esforço mecânico, somente diferenciando-se pelo fato de que pode ser detectado durante o processo de produção, através de testes destrutivos; desencontro das bordas da chapa no momento da soldagem, entre outros.

Diante destes fatores, a pergunta que motivou a execução do presente estudo foi: o que pode ser realizado para que os defeitos de soldagem sejam minimizados e, preferencialmente, eliminados do processo produtivo de tubos críticos?

2. Caracterização da Empresa

Atualmente, a Tuper conta com um dos parques fabris mais atualizados da América Latina e está continuamente investindo em suas Unidades de Negócios (SCHREINER, 2011).



Figura 1 – Vista aérea das Unidades Tubos e Galvanização, Tuper Óleo e Gás, Tubos Especiais e componentes e Soluções Construtivas
Fonte: Tuper (2016)

3. O processo de fabricação de tubos de aço na empresa Tuper

Segundo Silva Filho e Betfuer (2012, p. 3):

o processo de conformação através de rolos – do inglês *Roll Forming* – é utilizado desde o início do século XX. Entretanto, esse processo foi intensificado a partir da segunda guerra mundial, quando a fabricação de aço em chapas em maiores escalas também se intensificou. Os produtos desse processo eram antes feitos através de prensas mecânicas de fuso, excêntricas ou hidráulicas, obtidos de chapas e *blanks* de metal.

A Tuper utiliza hoje o que há de mais moderno atualmente no Brasil, em termos de fabricação de tubos de aço. Adota o sistema de conformação em linha contínua, com o processo de soldagem por resistência elétrica a indução (*High Frequency Induction Electric Resistance Welding*, HF/HFI-ERW), sem adição de material. Desta forma, a solda é obtida pela geração de calor, provocado pela resistência à passagem de corrente elétrica alternada de alta frequência (300 a 450 Hz) e pela junção das bordas de uma chapa de aço, formando um círculo, onde é aplicada uma certa pressão através de rolos (DIAN, 2012; SILVA FILHO e BETFUER, 2012).

Ainda conforme Silva Filho e Betfuer (2012, p. 13), “a linha de formação de tubos é composta por uma série de equipamentos interligados. O elemento de ligação é o próprio produto, ou seja: *o tubo formado*.”

Alguns acessórios para esta linha são essenciais para seu funcionamento. Outros permitem o aumento da produtividade ou melhoria da qualidade, sendo hoje em dia o grande diferencial tecnológico entre os competidores do mercado.

A seguir uma relação típica de equipamentos e acessórios da linha de formação de tubos de aço carbono com solda longitudinal, apresentada na forma de *layout*, conforme utilizado nas plantas de conformação da Empresa (Figura 2):

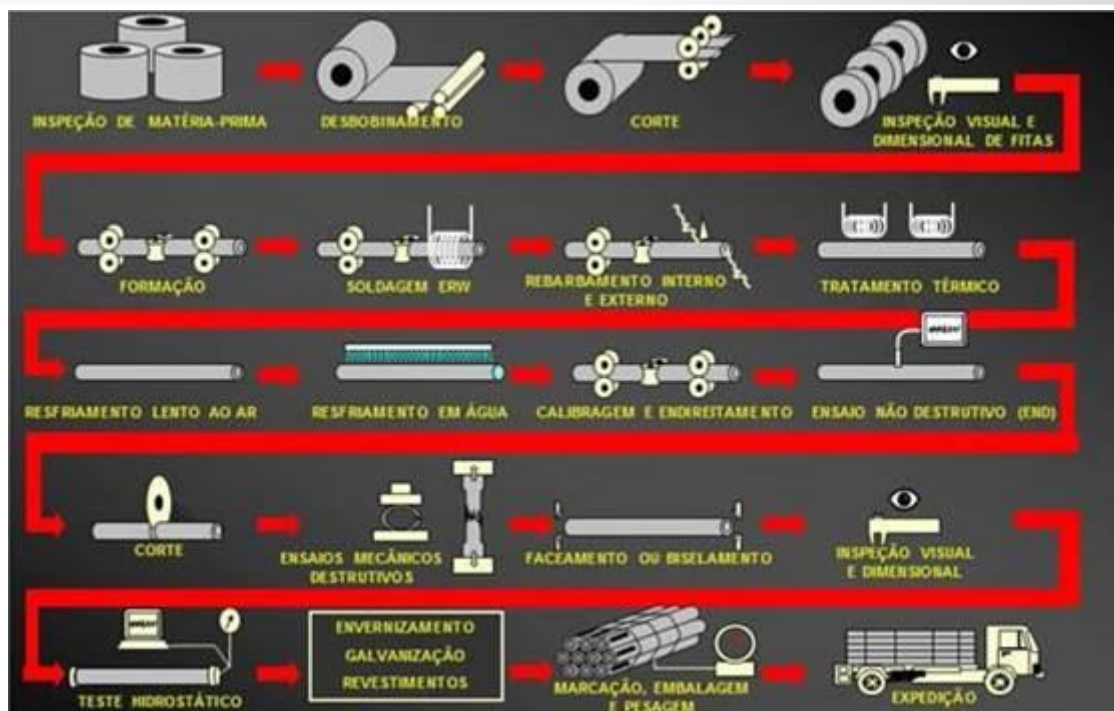


Figura 2 – Fluxo de produção ERW longitudinal
Fonte: Tuper (2015)

A região da máquina formadora anterior à soldagem é denominada *região de formação de tubos*. Nela inicia-se o processo de conformação da chapa. Na Tuper, existem dois tipos de conceitos de formação de tubos: *baseline* e *centerline* (TUPER, 2015).

A Figura 3 ilustra esses dois conceitos de formação de tubos.

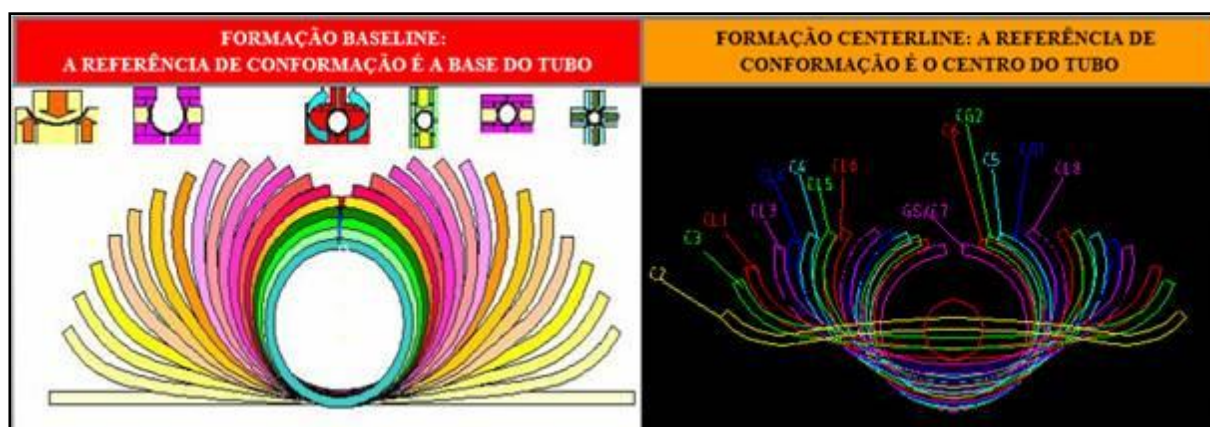


Figura 3 – Conceitos de formação de tubos
Fonte: Tuper (2015)

A Figura 3 também é conhecida como *flor de formação* e demonstra visualmente a forma gradual e circular que a chapa vai assumindo durante o processo de formação do tubo.

No processo HF-ERW a corrente de alta frequência pode ser transmitida para a superfície do material a ser soldado diretamente através de contatos elétricos, ou, de forma induzida, pelo uso de bobinas de indução. Dependendo do tipo de transmissão de corrente utilizado, o processo de soldagem é classificado em *alta frequência por indução*, quando utilizado bobinas de indução, e *alta frequência por resistência, ou contato*, quando utilizado contatos elétricos (NICHOLS, 1994).

A Figura 4 ilustra essas duas formas soldagem de tubos, pelo processo HF-ERW.

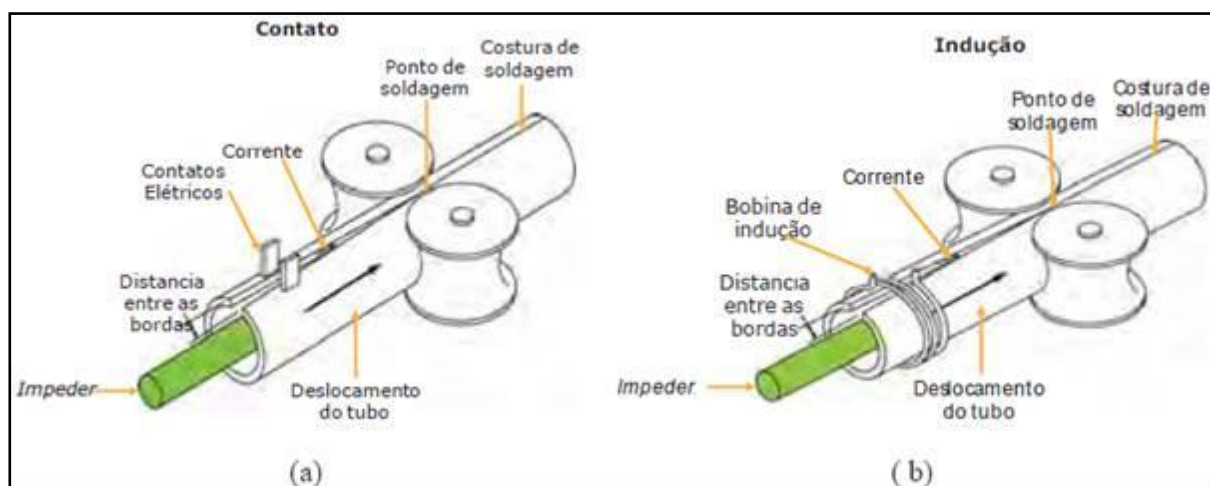


Figura 4 – Soldagem de tubos pelo processo HF-ERW, (a) por contato e (b) por indução
Fonte: Dian (2012)

O campo magnético de alta frequência (300 a 450 KHz) em torno da bobina de indução gera uma corrente parasita, que flui até as bordas da chapa. As bordas, por sua vez, aquecem-se, pela resistência ao fluxo da corrente elétrica (efeito joule), conforme se pode observar na Figura 5.

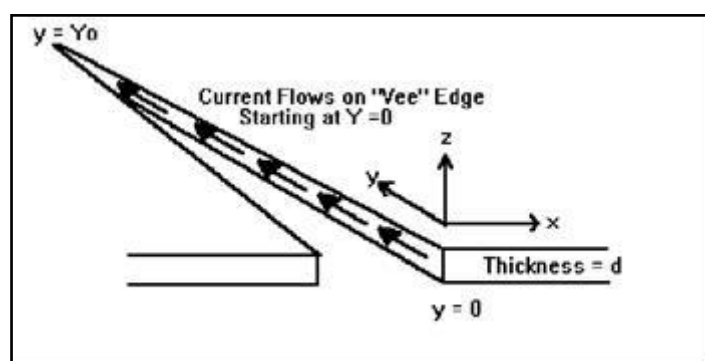


Figura 5 – Fluxo de corrente elétrica no “V” de solda
Fonte: Tuper (2015)

Em seguida, essas bordas aquecidas são unidas por pressão dos rolos de solda, até o completo caldeamento (Figuras 6 e 7). Não há adição de material, e o metal excedente, o *cordão de solda*, é removido tanto na parte externa quanto na parte interna do tubo formado, através de usinagem contínua (TUPER, 2015).

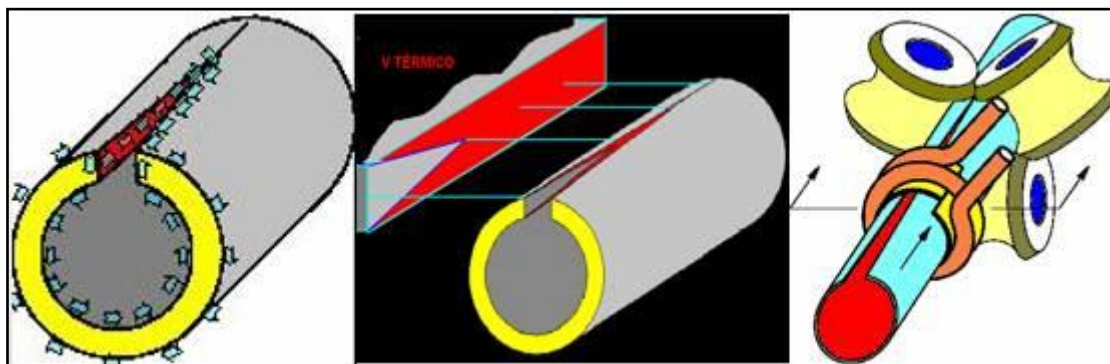


Figura 6 – Campo magnético de alta frequência, “V” térmico e união das bordas por pressão

Fonte: Tuper (2015)

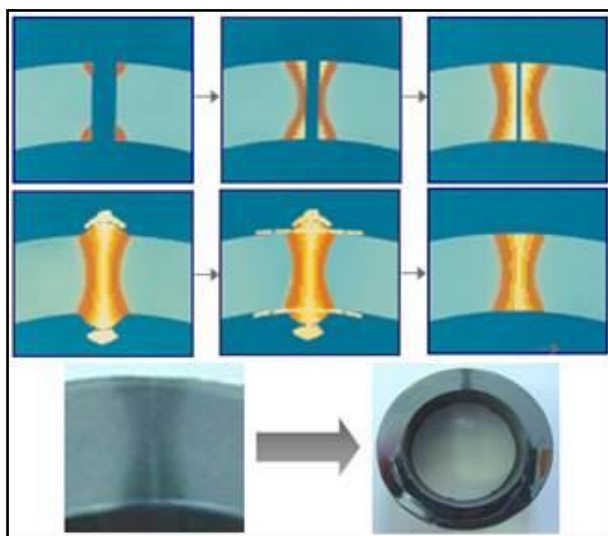


Figura 7 – Passo a passo da união das bordas aquecidas até o caldeamento e remoção do material excedente.

Fonte: Tuper (2015)

4. Metodologia

De acordo com Cauchick Miguel *et al.* (2009), esta pesquisa pode ser classificada como um Estudo de caso.

Para a realização deste trabalho, foram pesquisados materiais bibliográficos abrangendo estudos pertinentes ao assunto e executadas as seguintes etapas:

- a) Seleção de itens críticos;
- b) Monitoramento da produção dos respectivos itens;
- c) Coleta de amostras dos itens;
- d) Ensaio mecânicos destrutivos;
- e) Análise metalográfica;
- f) Geração de laudos técnicos;
- g) Criação de padrões visuais para itens soldados;
- h) Ajuste dos parâmetros de soldagem até a obtenção de “peças boas”;
- i) Registro e disponibilização desses parâmetros.

5. Resultados e Discussão

Com base numa listagem de tubos críticos, foi realizada uma coleta aleatória de amostras de itens em processo, para fins de análise metalográfica e identificação de defeitos de soldagem. Essa listagem é utilizada pelos Inspectores da Qualidade, para acompanhamentos de produção de tubos que exijam critérios mais específicos, quanto à sua soldabilidade.

No presente estudo foram analisadas as principais variáveis de processo e material, quais sejam: potência de solda, velocidade de máquina, espessura e qualidade da chapa.

Uma das mais importantes variáveis do processo é a relação *potência de solda x velocidade*

de soldagem, que impacta diretamente na temperatura de soldagem (NICHOLS, 1994).

As análises realizadas nas amostras de tubos de vários dimensionais, espessuras, aços e tolerâncias, levou a compilação de uma série de resultados. Em seguida, esses dados foram sintetizados na forma de padrões visuais e dispostos nas estações de trabalho.

As Figuras 8 a 16 apresentam exemplos de padrões visuais advindos desses estudos.



Figura 8 – Padrão visual de defeitos de soldagem – Defeitos na chapa
Fonte: Tuper (2015b)



Figura 9 – Padrão visual de defeitos de soldagem – Escarfagem inadequada
Fonte: Tuper (2015b)



Figura 10 – Padrão visual de defeitos de soldagem – Defeito de borda
Fonte: Tuper (2015b)



Figura 11 – Padrão visual para defeitos de soldagem – Trinca 45°
Fonte: Tuper (2015b)



Figura 12 – Padrão visual para defeitos de soldagem – Falta de fusão no centro
Fonte: Tuper (2015b)

ENCONTRO DE BORDAS	
BORDAS ALINHADAS	BORDA DESALINHADA / LADO MOTOR
	
  	  
AÇÃO CORRETIVA / OBSERVAÇÃO: Não Aplicável	AÇÃO CORRETIVA / OBSERVAÇÃO: Ajustar condições de entrada e saída do material no Finn Pass. A espessura remanescente não pode ser menor do que a espessura mínima requerida.

Figura 13 – Padrão visual para avaliação metalográfica – Encontro de bordas
Fonte: Tuper (2015a)

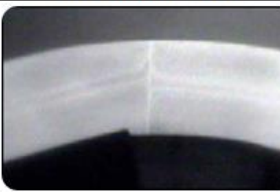
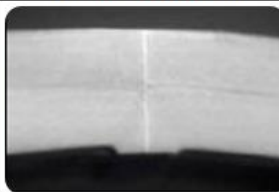
RASPAGEM INTERNA E EXTERNA			
ESCARFAGEM CENTRALIZADA	ESCARFAGEM DESLOCADA	ESCARFAGEM CAVADA	ESCARFAGEM TIPO PORTA
			
  	  	  	  
AÇÃO CORRETIVA / OBSERVAÇÃO: Não Aplicável	AÇÃO CORRETIVA / OBSERVAÇÃO: Verificar quebra da ferramenta e/ou ajustar seu posicionamento	AÇÃO CORRETIVA / OBSERVAÇÃO: Diminuir a penetração da Ferramenta de escarfigem (INT/EXT)	AÇÃO CORRETIVA / OBSERVAÇÃO: Aumentar a penetração da Ferramenta de escarfigem (INT/EXT)

Figura 14 – Padrão visual para avaliação metalográfica – Raspagem interna e externa
Fonte: Tuper (2015a)

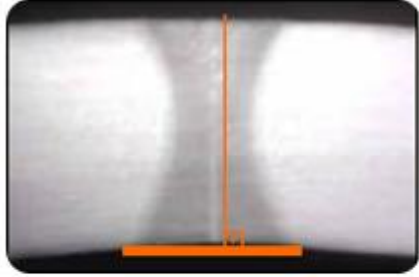
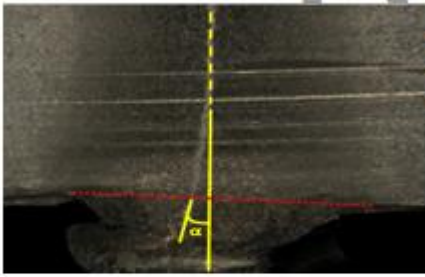
LINHA FERRÍTICA	
ALINHADA A 90°	DESALINHADA COM O EIXO HORIZONTAL
	
  	  
AÇÃO CORRETIVA / OBSERVAÇÃO:	AÇÃO CORRETIVA / OBSERVAÇÃO:
Não Aplicável	Ajustar a chapa no Fin Pass e/ou ajustar os Rolos de Solda. Tolerância de desalinhamento (tomar como base à superfície interna ou externa):
	Esp. >7,9mm ±5° Esp. ≤7,9mm ±10°

Figura 15 – Padrão visual para avaliação metalográfica – Linha ferrítica
Fonte: Tuper (2015a)

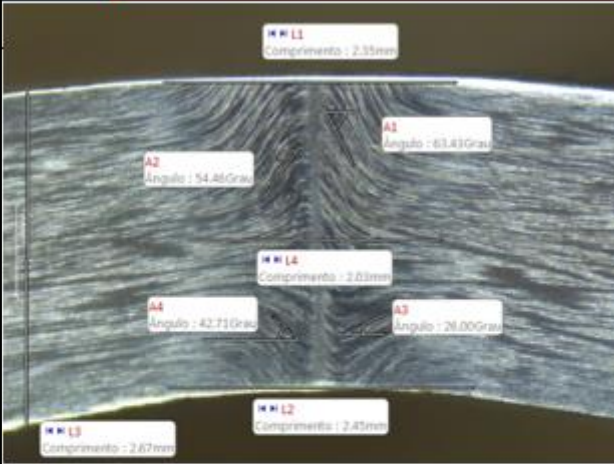
LINHAS DE FLUXO	
	
	 
AÇÃO CORRETIVA / OBSERVAÇÃO:	
Ajustar a relação entre aperto superior e inferior e potência de soldagem	

Figura 16 – Padrão visual para avaliação metalográfica – Linhas de fluxo
Fonte: Tuper (2015a)

Embora tenham sido elaborados padrões visuais, através de ensaios executados no laboratório metalúrgico da Empresa e também com base na literatura específica sobre o assunto, convém salientar que ainda existem fatores a serem avaliados de forma mais aprofundada. A exemplo, da automatização dos parâmetros de soldagem, que devem ser ajustados conforme registros e verificações de assertividade e repetitibilidade, comprovados através de ensaios mecânicos e metalográficos. Esses registros devem ser coletados durante acompanhamentos no chão de

fábrica, com uma frequência mínima de três vezes para cada item de produção seriada, para que se tenha condições de estabelecer comparativos de variáveis de processo e material. É importante estender a mesma prática à todas as estações de trabalho que ainda não possuem este nível de controle de soldagem.

6. Considerações Finais

O presente artigo apresentou referencial bibliográfico acerca da confecção de tubos de aço carbono com solda longitudinal, bem como das possíveis falhas referentes à soldagem dos mesmos. Com enfoque no planejamento e controle da qualidade, apresentou a metodologia de execução da presente pesquisa, destacando a importância das variáveis de processo envolvidas e apontando a adoção de padrões visuais como facilitadores para a identificação de possíveis defeitos de qualidade nos produtos fabricados.

Como o processo de fabricação é bastante similar nas várias máquinas formadoras de tubos da Empresa, presume-se que podem ser adotadas práticas comuns na busca da solução dos problemas de soldagem, obtendo-se, desta forma, redução de não conformidades. Fator este que também se traduz em redução de custos. A parametrização adequada de soldagem, aliada ao aprimoramento dos ensaios, pode contribuir muito para a minimização dos defeitos de solda e, conseqüentemente, melhoria contínua dos produtos oferecidos ao mercado.

Referências

- CAUCHICK MIGUEL, P. A. *et al.* *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier-Campus, 2011.
- DIAN, G. H. *Influência do aporte de calor e da velocidade de soldagem na tenacidade da solda HF-ERW*. 2012, 93 f: il. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012.
- NICHOLS, R. K. *High Frequency Pipe & Tube Welding*; 1st Edition, 1994. U.S.A. Thermatool Corp. Copyright 1995 Thermatool Corporation.
- PALOSCHI JÚNIOR, J. *Estudo das Características Microestruturais e Propriedades Mecânicas em Tubos de Aço com Costura normalizados*. 2008, 62 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2008.
- SCHREINER, RAFAEL. *Padronização do comprimento de corte para emenda de fitas na fabricação de tubos de aço com costura*. 2011, 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Universidade da Região de Joinville - Departamento de Engenharia de Produção Mecânica, São Bento do Sul, 2011.
- SILVA FILHO, C.; BETFUER, L. N. *Academia do Conhecimento (Apostila). Módulo: Formação de Tubos*. Santa Catarina: Tuper, 2012.
- TUPER. Padrão visual para avaliação metalográfica. 2015a.
- TUPER. Padrão visual para defeitos de soldagem. 2015b.
- TUPER. Sobre a Tuper. Disponível em: <<http://www.tuper.com.br/sobre/>>. Acesso em: 19 jun. 2016.
- TUPER. *Tabela Técnica de Produtos Tuper – Edição 2014*. Santa Catarina: Tuper, 2014.
- TUPER. *Treinamento Comercial (Apostila). Tuper Institucional e Condução*. Rev. 2. Santa Catarina: Tuper, 2015.