

DESENVOLVIMENTO NA COSIPA DO AÇO API 5CT J55 PARA TUBOS DE PEQUENO E GRANDE DIÂMETROS ⁽¹⁾

Willy Ank de Moraes ⁽²⁾
Raul Mazza de Mello ⁽³⁾
Herbert Christian Borges ⁽³⁾
Lara Crystinne Paes Ret ⁽⁴⁾
Marcos Roberto Soares da Silva ⁽⁵⁾

RESUMO

Este trabalho objetiva a descrição das características requisitadas por norma e desejadas em desempenho para os aços que a Cosipa disponibilizando com sucesso para a obtenção de tubos do aço API 5CT J55, utilizados na indústria da extração de petróleo e gás. Serão expostos os requisitos de norma e a consequências que estes requisitos têm sobre os procedimentos de especificação do aço e fabricação dos tubos. São apresentadas ao longo do trabalho as condições técnicas e práticas necessárias para o bom desempenho do material, tanto internamente na Cosipa quanto no processamento em três diferentes clientes fabricantes de tubos API 5CT J55 para pequenos, médios e grandes diâmetros. O trabalho descrito nesta contribuição é diretamente responsável pelo fornecimento de cerca de 15mil toneladas deste aço, em um período de dois anos, com índice desprezível de desvios nos clientes finais (<0,5%). Dados obtidos de ensaios mecânicos e metalográficos, que caracterizaram profundamente o aço das bobinas e dos tubos, são apresentados. Os resultados descrevem as variações de propriedades chapa-tubo e explicitam o bom desempenho dos aços desenvolvidos pela Cosipa. A experiência obtida permite o planejamento de novos desenvolvimentos para a classe de aços para tubos API 5CT, tais como o K55, N80, L80 e P110, assim como para outras classes de aços para tubos especiais.

Palavras-chave: aços planos; tubos OCTG; desenvolvimento de materiais.

¹ Contribuição Técnica a ser apresentada no 41º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 21, 22 e 23 de outubro de 2003 em Joinville - SC.

² MSc., Eng., Téc., Analista de Produto/Desenvolvimento de produto, Assistência Técnica, COSIPA – SP; Prof. Departamento Enga. Mecânica UNISANTA (willymoraes@cosipa.com.br ou willyank@unisanta.br).

³ Analistas de Produto, Assistência Técnica, COSIPA – SP (raul@cosipa.com.br e herbertborge@cosipa.com.br).

⁴ Analista de Operação, Suporte Técnico da Aciaria, COSIPA (lararet@cosipa.com.br).

⁵ Analista de Operação, Suporte Técnico da Laminação a Quente, COSIPA (marcoasilva@cosipa.com.br).

1 – INTRODUÇÃO

A exploração de petróleo e gás natural emprega grande quantidade de tubos para a extração destes fluidos (tubos OCTG). Os requisitos necessários para estes materiais, desde a especificação das propriedades do aço até as dimensões e tolerâncias das roscas são previstos na norma API 5CT [1]. Os tubos especificados por esta norma são aplicáveis a duas situações:

- “casing” - tubulação que é colocada diretamente na superfície do furo do poço (na rocha), intencionando definir uma parede rígida neste poço de modo a facilitar a sua exploração.
- “tubing” - tubulação colocada dentro da parede do poço (definida pela tubulação de “casing”) e que serve para retirar petróleo e/ou gás ou então para a injeção de fluidos.

Os tubos podem ser produzidos pelos processos sem costura ou por solda elétrica e podem ou não serem tratados termicamente. A norma define vários graus de acordo com as condições de uso dos tubos. Alguns destes graus estão ilustrados na tabela I, deve-se notar que a norma tem seus requisitos no produto final (tubo) e não sobre as matérias-primas. O consumo destes tubos está diretamente correlacionada com a demanda de exploração de petróleo e gás.

Tabela I – Requisitos de tração e dureza de alguns graus da norma API 5CT[1].

Grupo	Grau	Limite de escoamento (MPa)		Limite de Resistência máx (MPa)	Dureza máx (HR _c)
		Mín.	Máx.		
1	H40	276	552	414	–
	J55	379	552	517	–
	K55	379	552	655	–
	N80	552	758	689	–
2	M65	448	586	586	22
	L80	552	655	655	23
	C90	621	724	689	25,4
	C95	655	758	724	–
	T95	655	758	724	25,4
3	P110	758	965	862	–
4	Q125	862	1034	931	–

Para a classe API 5CT, o principal grau produzido pelo processo ERW é o API 5CT J55, obtido pela conformação contínua em uma formadora de tubos, soldagem por resistência elétrica e um tratamento térmico localizado para garantir a homogeneidade de propriedades mecânicas e microestruturais, figura 1 [2]. Com a matéria-prima (aço plano) adequada torna-se desnecessária a realização de tratamento térmico em todo o tubo, o que torna este processo produtivo, muito econômico e competitivo, além de fornecer produtos com bom ajuste dimensional (espessura).

A Cosipa reiniciou a fornecer aços para tubos API laminados a quente ao mercado, com um grande incremento de vendas a partir do ano de 2002 [3 e 4]. Os aços produzidos estão sendo destinados para as classes API 5L (do grau B ao X65, com desenvolvimentos em X70 e X80) e API 5CT (J55, N80 e L80), para pequenos e grandes diâmetros todos produzidos pelo processo ERW [4]. No projeto destes aços, são consideradas, obrigatoriamente, as características peculiares de fabricação do tubo e de seu uso final, especialmente a geometria (diâmetro e espessura) e as propriedades mecânicas finais do produto (especialmente o limite de escoamento).

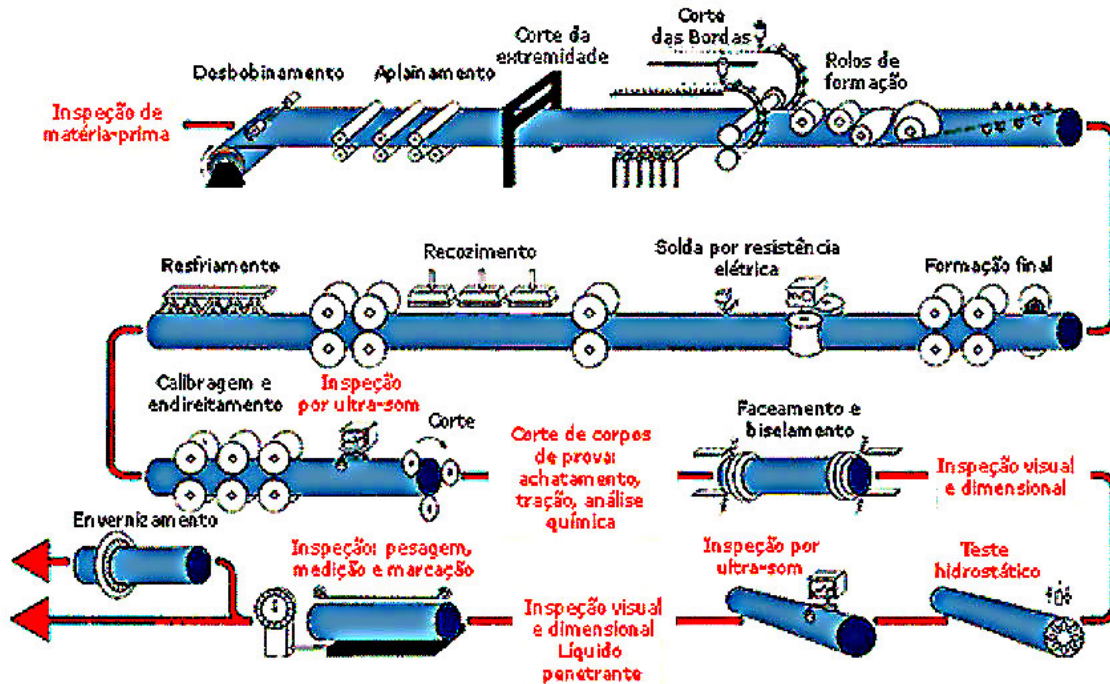


Figura 1 – Fluxograma esquemático do processo de produção de tubos pelo processo de soldagem por resistência elétrica (ERW), adaptado de [2].

2 – REQUISITOS E PROJETO

Os requisitos mecânicos para os tubos API 5CT J55 estão mostrados na tabela I, acrescentando-se o requisito de alongamento mínimo, definido pela equação descrita na norma API [1]:

$$e = k \cdot \frac{A^{0,2}}{\sigma_{UTS}^{0,9}} \quad (1)$$

Onde: e é o alongamento na base 2" (50,8mm); k é uma constante ($k=1944$); A é a área da seção reta do CP e σ_{UTS} é o limite de resistência do material (em MPa).

A figura 2 ilustra a faixa das propriedades mecânicas exigidas pela norma do tubo, as propriedades aceitáveis para o processamento no cliente, as propriedades que devem ser garantidas pela Cosipa e as objetivadas na prática da Usina.

A norma API 5CT J55 exige um limite de escoamento entre 379 e 552MPa, no tubo. Porém o processo de produção (conformação e endireitamento dos tubos) introduzem um encruamento Δ , de modo que a obtenção de um tubo dentro dos parâmetros do grau J55, no fabricante, só ocorrerá com a utilização de um aço com um limite de escoamento defasado de Δ . Por outro lado, para manter a qualificação do grau J55 no seu aço, a Cosipa fornece aço com a garantia de limite de escoamento dentro da norma, sem descontar o encruamento no limite mínimo, visando sempre uma faixa mais estreita por segurança.

Desta forma, trabalha-se com uma especificação com requisitos muito estreitos que requerem um cuidado constante de acompanhamento e avaliação interna (na Cosipa), assim como eventuais ajustes nas temperaturas de laminação deste material.

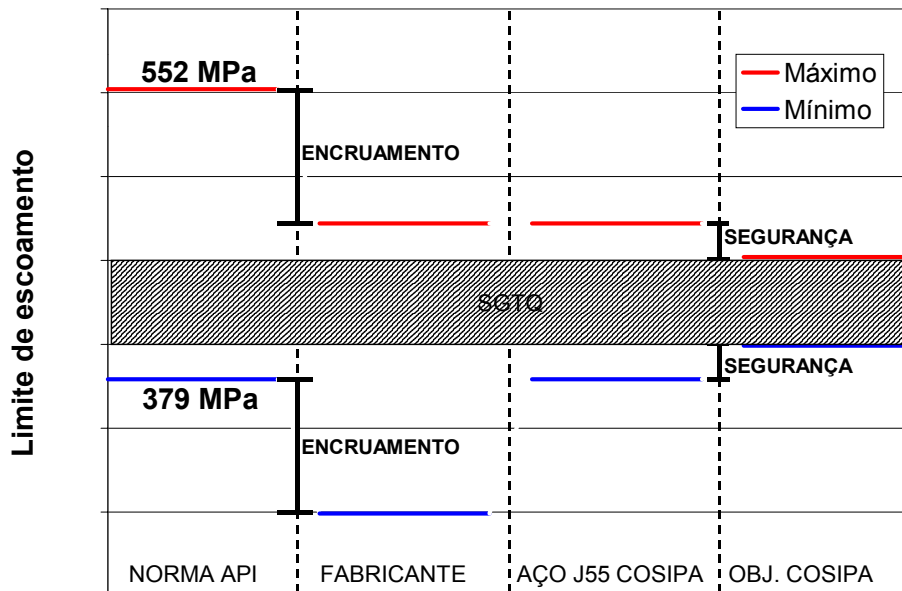


Figura 2 – Faixas de limite de escoamento para a produção de um tubo API 5CT J55 efetivo (exemplo para tubos de pequeno diâmetro $\phi \approx 2 \frac{7}{8}$ ”).

O projeto de liga do aço foi realizado de modo a objetivar propriedades mecânicas tais que atendam tanto aos requisitos da norma API 5CT J55 quanto de desempenho do material na produção dos tubos, dando-se destaque à:

- adequação do nível de prop. mecânicas com a geometria do tubo (encruamento e manutenção de uma relação elástica favorável);
- conformabilidade da bobina para a produção do tubo;
- manutenção das propriedades nos extremos da tira (“pontas”);
- boa soldabilidade (Ceq e/ou Pcm baixos);
- tolerâncias dimensionais adequadas tanto à qualidade do produto final (considerando suas particularidades), quanto ao rendimento do processo;
- bom nível de sanidade interna do aço (evitar defeito “hook crack”).

Assim sendo, cuidados devem ser tomados nas etapas de fabricação do aço, especialmente no controle da composição química para minimizar a variabilidade das propriedades mecânicas. O projeto é baseado na utilização de quantidades balanceadas de carbono, manganês e microligantes de modo a se obter um aço na faixa das propriedades mostradas na figura 2.

O aço empregado para a produção da qualidade API 5CT J55 é um dos mais restritos em termos de variação de composição química de panela na Cosipa. Pequenas variações em composição química e de temperaturas podem produzir variações desfavoráveis nas propriedades mecânicas [5], inviabilizando a sua aplicação final. Tais variações são continuamente quantificadas considerando-se as relações conhecidas, como as mostradas na figura 3 e os resultados obtidos interna e externamente pela Cosipa.

O aço é ainda injetado com CaSi em fios para o favorecimento de sua ductilidade.

Não somente a composição química, mas também as temperaturas de laminação podem influenciar significativamente o desempenho do aço. A figura 4 ilustra uma variação esquemática da microestrutura de um aço desta classe com as temperaturas de laminação do material. A estreita faixa das propriedades mecânicas requisitadas para

este de aço leva a eventuais acertos de temperaturas de laminação, de acordo com a composição química das placas a laminar.

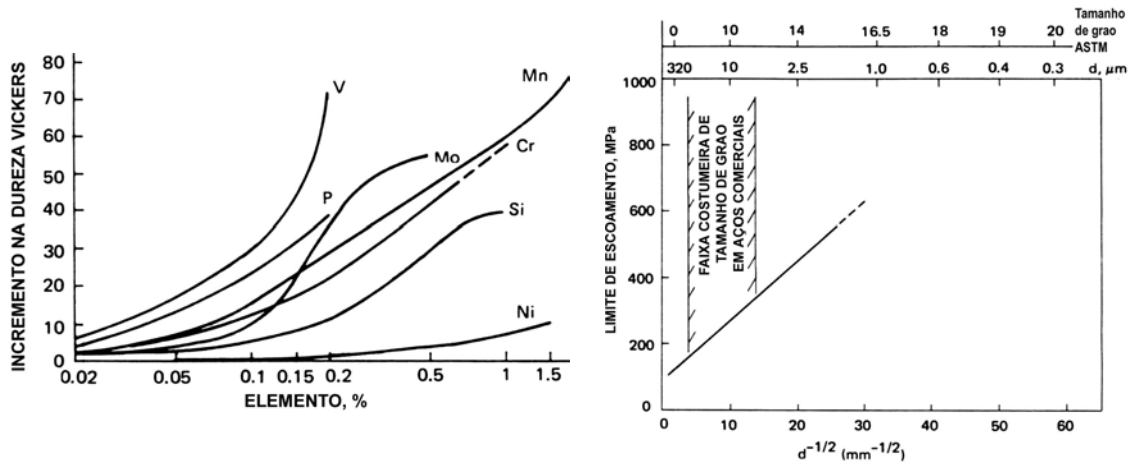


Figura 3 – Relações conhecidas entre composição química e propriedades mecânicas de aços: à esquerda influência da composição química sobre a dureza (e também no limite de resistência); à direita influência do tamanho de grão sobre o limite de escoamento de aços baixo carbono, ambos gráficos adaptados de [6].

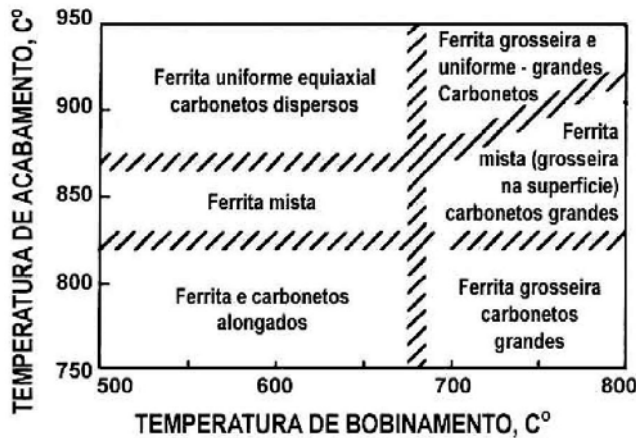


Figura 4 – Relação genérica entre as temperaturas de laminação a quente com a microestrutura obtida em aços carbono manganês, adaptado de [7].

A composição química média de 14Mil toneladas entregues a partir de fevereiro de 2002 até abril deste ano resultou nos dados apresentados na tabela II. A composição química visa, além de favorecer a obtenção de um limite de escoamento dentro da faixa indicada pela figura 2, um limite de resistência com uma segurança acima do requisitado para o grau J55, assim como uma relação elástica mais adequada para facilitar a conformação dos tubos (L.E./L.R. \approx 0,75).

Existem outros requisitos igualmente importantes para esta classe de aços, um destes é a tolerância de espessura que implica tanto em maior rendimento econômico do processamento no produtor de tubos, como também na segurança da garantia do uso. A figura 5 ilustra o perfil de espessuras obtidos pela medição da espessura em 8 pontos ao longo do perímetro de tubos API 5CT J55 produzidos de dois fabricantes diferentes.

Tabela II – Composição química dos aços produzidos no LTQ da Cosipa para tubos API 5CT J55 de pequeno/médio diâmetro (desvio padrão entre parêntesis).

Ceq	C	Mn	Si	Nb+Ti+V	Ca
0,34 (5%)	0,15 (6%)	1,16 (4%)	0,19 (13%)	0,018 (18%)	28ppm (28%)

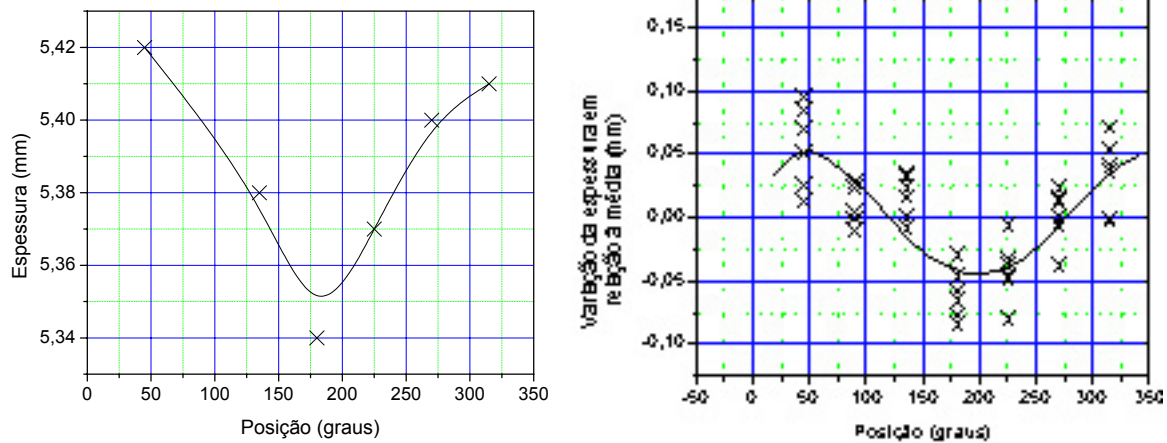


Figura 5 – Perfil de espessuras ao longo do perímetro de tubos API 5CT J55 produzidos com aço fornecido pela Cosipa em dois fabricantes de tubos de pequenos diâmetros. À esquerda, fabricante A, valores absolutos de espessura interpolados (variação de 0,08mm), à direita, fabricante B, valores relativos à média (variação de $\pm 0,05$ mm).

Pelos gráficos de variação de espessura, nota-se que o processo de formação contínua produz uma ligeira variação na espessura do tubo ($\approx 0,1$ mm). No caso do gráfico à esquerda da figura 5, a espessura inicial da bobina que gerou os tubos foi 5,59mm e os tubos uma espessura média de 5,42mm (redução de 0,17mm ou 3%). Estes dados permitem especificar corretamente os valores de espessura e tolerâncias (amplitude e assimetria) nas bobinas mais adequadas para garantir a espessura mínima nos tubos.

A estrutura do aço fornecido é do tipo ferrita-perlita com tamanho de grão fino (ASTM 8 ou mais fino). A figura 6 ilustra a microestrutura presente em uma amostra de um tubo API 5CT J55 na região da junta soldada (tratada) e fora desta região.

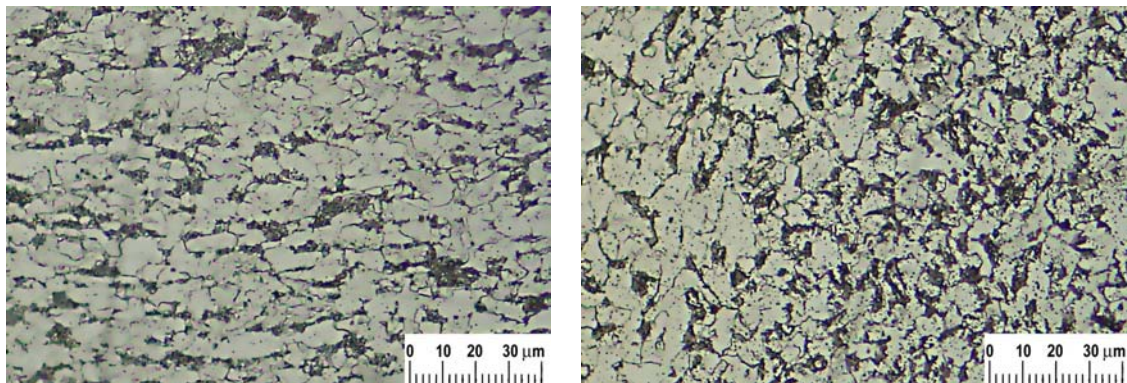


Figura 6 – Microestruturas de um tubo API 5CT J55. À esquerda: afastada da região de solda e à direita na região de solda com tratamento térmico (mostrando a linha de união). Ataque nital a 2% e ampliação no microscópio de 1000X.

3 – DESEMPENHO

A figura 7 ilustra a variação da microestrutura em tubos com e sem tratamento térmico. Além do aspecto visual, medições de microdureza confirmaram que o tratamento térmico foi efetivo na homogeneização das propriedades mecânicas na junta soldada.

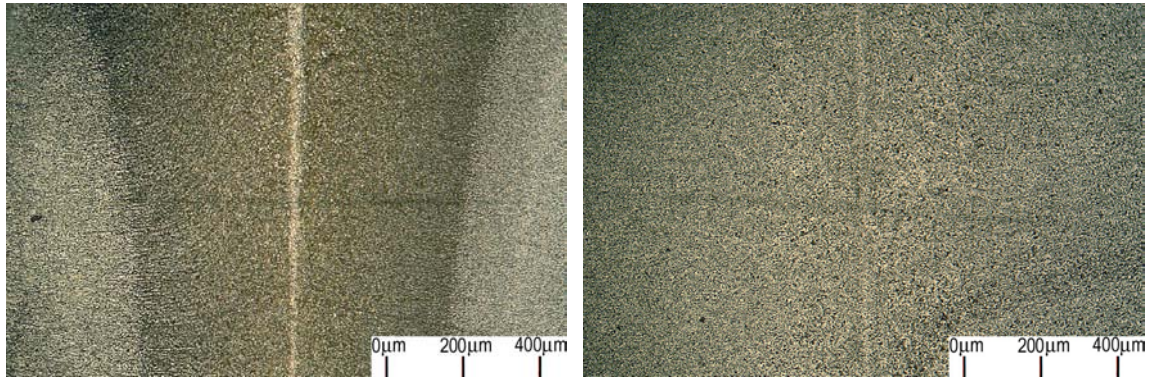


Figura 7 – Microestruturas de um tubo API 5CT J55. À esquerda: afastada da região de solda e à direita na região de solda com tratamento térmico. Ataque nital a 2% e ampliação no microscópio de 50X.

As análises metalográficas também visaram buscar a presença de inclusões. Das amostras observadas, não foram encontradas quantidades significativas de inclusões, estando estas globulizadas pela injeção de Ca-Si em fios na aciaria. A presença de inclusões e segregações são os principais fatores para o desvio de material no fabricante, durante a etapa de inspeção não destrutiva automática dos tubos. Uma das maiores destas inclusões teve sua análise química obtida por uma microsonda e sua dureza por um microdurômetro. A figura 8 apresenta os resultados destas medições.

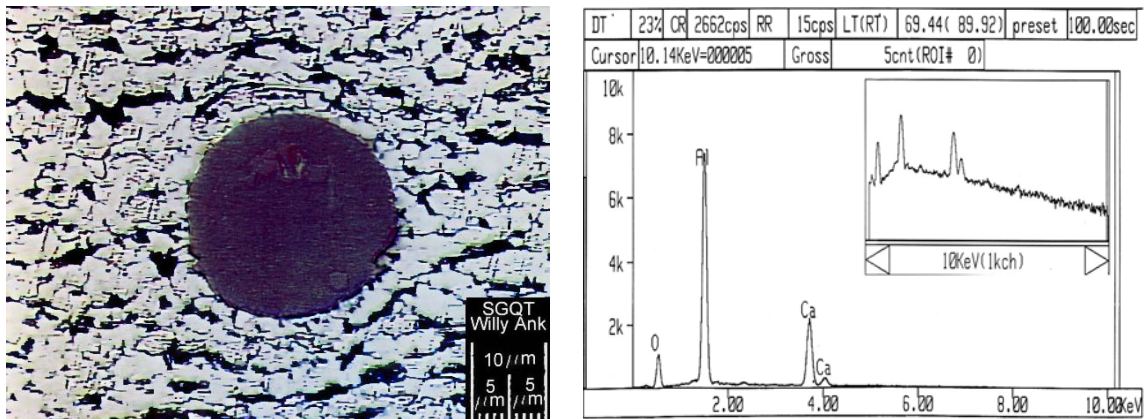


Figura 8 – Uma das maiores inclusões (globulizada) encontrada (em média as inclusões globulizadas apresentam diâmetros $\leq 5\mu\text{m}$). A microdureza obtida foi de $1500\mu\text{HV}$ com carga de 20g, ataque Nital a 2% e ampliação no microscópio de 1000X.

As propriedades mecânicas são as principais variáveis de projeto destes aços, especialmente o limite de escoamento que se altera sensivelmente na formação do tubo. A figura 9 ilustra a variação no limite de escoamento e limite de resistência para diversas amostras obtidas de dois fabricantes de tubos API 5CT J55 de pequeno/médio diâmetro.

A figura 10 ilustra os resultados obtidos na comparação chapa-tubo para aplicação de uma adaptação do aço para tubos de grande diâmetro. O encruamento verificado foi menor do que para os tubos de pequeno diâmetro, como esperado e calculado segundo um modelo desenvolvido para este fim (a ser divulgado). Os dados foram obtidos a partir de amostras retiradas das bobinas (nas posições indicadas na figura) e de tubos produzidos na mesma posição.

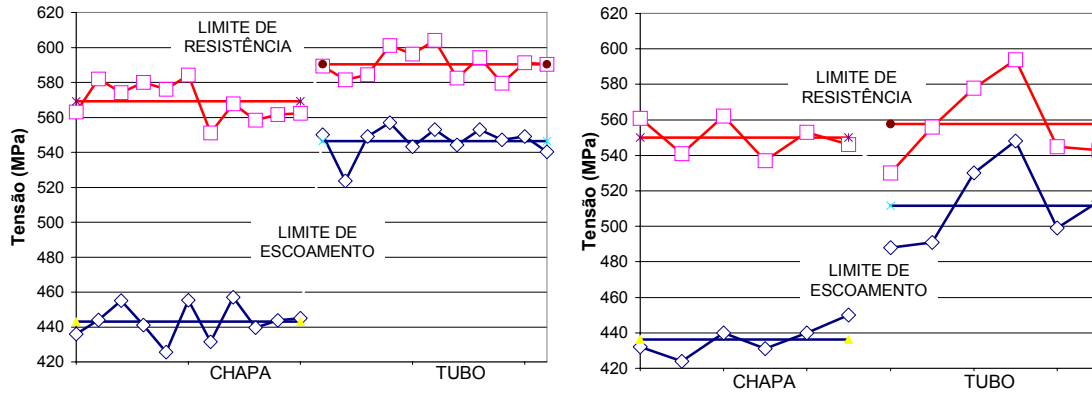


Figura 9 – Variação das propriedades mecânicas entre a chapa (bobina) e o tubo API 5CT J55 de pequeno diâmetro ($2'' \leq \phi \leq 3''$) e espessura ($4,5\text{mm} \leq e \leq 6,5\text{mm}$), entre os mesmos fabricantes citados na figura 5: à esquerda fabricante A e à direita fabricante B. O encruamento (Δ) verificado ficou entre 70 e 110MPa.

Os resultados na figura 10 são mais completos pois além de revelar a variação (homogênea) das propriedades mecânicas entre a chapa e o tubo também oferece resultados da variação das propriedades ao longo da tira. Apesar do incremento na dispersão (de 2% para 4%) no valor do limite de escoamento. Os extremos da tira possuem as mesmas propriedades do meio, graças à estratégia de resfriamento adotada (pontas quentes) no comprimento e sobretemperatura adequados.

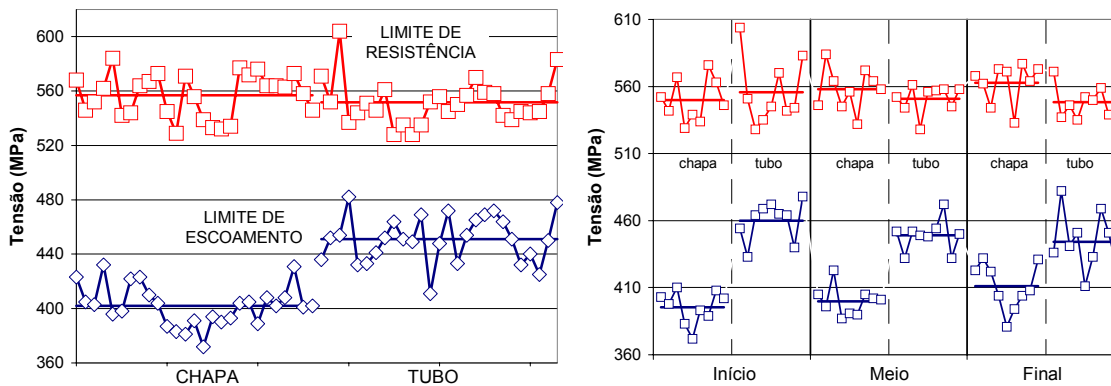


Figura 10 – Variação das propriedades mecânicas entre a chapa (bobina) e o tubo API 5CT J55 de grande diâmetro ($\phi=13\frac{3}{8}''$) com espessura de 11mm produzido um um fabricante C. A direita mediu-se um encruamento médio ($\Delta=50\text{MPa}$); a esquerda a variação do limite de escoamento e resistência chapa-tubo ao longo do comprimento das bobinas.

Gráficos tensão x deformação de chapas e de tubos testados para a comparação das características mecânicas estão mostrados na figura 11. Destes ensaios, além dos valores dos limites de escoamento e de resistência, foram retirados parâmetros plásticos importantes: o expoente de encruamento (n), o coeficiente de anisotropia (R) e a constante plástica de resistência (K), que não estão mostrados [8]. Devido à necessidade de instrumentação com extensômetros eletrônicos, estes ensaios foram realizados com

CP's ASTM e não pelo padrão API, porém valores de alongamento API podem ser obtidos pela conversão via equação de Oliver [9], oferecendo resultados satisfatórios.

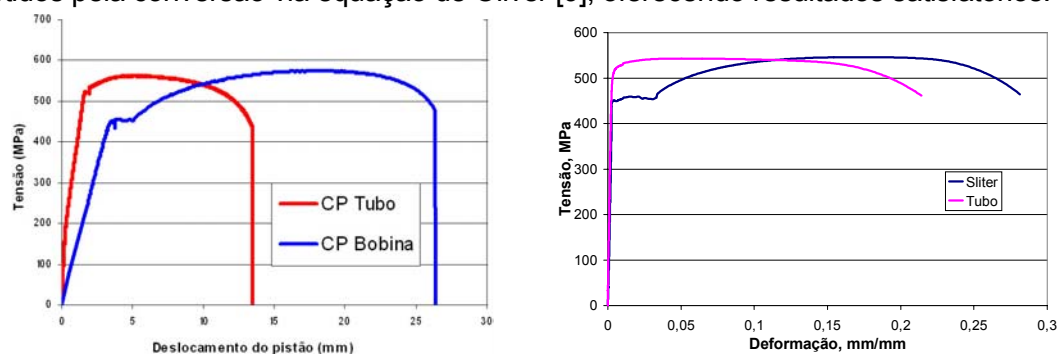


Figura 11 – Gráficos tensão versus deformação de engenharia para chapas e tubos API 5CT J55 obtidos por meio de ensaios de tração instrumentados.

5 – CONCLUSÕES

Aços para tubos API 5CT J55 devem ser bem especificados já que a alteração das propriedades mecânicas, de acordo com as condições geométricas do tubo e com a características mecânicas e estruturais do aço, pode inviabilizar a obtenção do produto final. Além da avaliação destas alterações (por meio de um modelo matemático), a Cosipa adota um processo de fabricação diferenciado para estes aços: faixa de composição química estreita na aciaria, globulização de inclusões, controle de resfriamento da tira e das pontas.

Estes cuidados só têm efeito com o acompanhamento do desempenho do material nos clientes finais, feitos pelo corpo técnico da Cosipa. Os resultados demonstram que o projeto da liga e o processo de produção adotados pela Cosipa são eficientes para a obtenção de tubos que atendam integralmente a norma API 5CT J55.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] – American Petroleum Institute. **API Specification 5CT for Line Pipe**, 2001.
- [2] – TENARIS CONFAB – unidade tubos; **Processo ERW Longitudinal - Formação em Linha Contínua: Fluxograma de fabricação e Controle de Qualidade**, 2004.
- [3] – MORAIS, W.A. et. al.; **O Processo na Cosipa para o Atendimento de pedidos de bobinas laminadas a quente para a produção de tubos API**. Seminário Interno de Laminação - Cosipa, abril, 2003.
- [4] – MORAIS, W.A. et. al.; **Desenvolvimento de acos laminados a quente na Cosipa destinados a producao de tubos API pelo processo ERW**. 40º Seminário de Laminação da ABM, Vitória (ES), Out., 2003.
- [5] – KESTENBACH, J. H. e CAMPOS, S. S.; **Contribuição da precipitação interfásica à resistência mecânica em tiras a quente**. 58º Congresso da ABM, Rio, 2003.
- [6] – LESLIE, W.L.; **The physical metallurgy of steels**. McGraw-Hill College Div., 1981.
- [7] – LLEWELLYN, D.T.; **Steel: Metallurgy and Applications**. Butterworth-Heinemann Ltd., 1992. In: GODEFROID, L.B.; CÂNDIDO, L.C.; MORAIS, W.A.; **Curso de Análise de Falhas**. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Cubatão, 2003.

- [8] – MORAIS, W.A. et. al.; **Estudo das variáveis de deformação plástica em aços através de ensaios de tração instru-mentados**. 59^o Congresso da ABM – Internacional, São Paulo, 2004.
- [9] – ISO 2566/1. **Steel and steel products - Conversion of elongation values- Part 1 : Carbon and low alloy steels**. International Organization for Standardization, 2002.

DEVELOPMENT OF HOT STRIP STEELS IN COSIPA FOR API 5CT J55 OCTG TUBES ⁽¹⁾

Willy Ank de Morais ⁽²⁾
Raul Mazza de Mello ⁽³⁾
Herbert Christian Borges ⁽³⁾
Lara Crystinne Paes Ret ⁽⁴⁾
Marcos Roberto Soares da Silva ⁽⁵⁾

ABSTRACT

The aim of this work is to analyse the characteristics required by API and the recommended ones to obtain OCTG (API 5CT) tubes of small and big diameter made with a specific steel furnished by COSIPA. The authors described since the elaboration of steel until the accompaniment of finish approval tests of small and big diameters tubes produced with these steels. It is shown the methodology of development of the steels and the philosophy of alloy project used in Cosipa. It is also made some considerations on the final performance of this material during the production of the tubes and the observed relationship between the properties of the coil and the tube. The results show a good performance of the steel made by COSIPA in tube production process and in terms of mechanical properties.

Key-words: plane steel; OCTG tubes; materials development.

- (1) Technical work to be presented in the 41th Rolling Seminar– ABM, 21, 22 and October 23, 2003 in Joinville – SC/Brazil.
- (2) MSc., Metallurgical Engineer, Product Development, Technical Assistance Division, COSIPA and Professor Depart. Mec. Eng. UNISANTA (willymorais@cosipa.com.br and willyank@unisanta.br).
- (3) Metallurgical Engineer, Technical Assistance Division, COSIPA (raul@cosipa.com.br e herbertborge@cosipa.com.br).
- (4) Metallurgical Engineer, Steelworks technical support, COSIPA (lararet@cosipa.com.br).
- (5) Metallurgical Engineer, Hot strip mill technical support, COSIPA (marcossilva@cosipa.com.br).