

# RELAÇÃO ENTRE A ENERGIA CHARPY E A DUCTILIDADE ATRAVÉS A ESPESSURA DE AÇO API 5L X80

**Aluno: Isis de Oliveira Fernandes**

**Orientador: Ivani de Souza Bott**

## **Introdução**

O Brasil vive um momento privilegiado na indústria de petróleo, notícias de descobertas de campos gigantes de petróleo e de quebras de recordes de produção são vistas com certa frequência. Com as previsões dos campos do famigerado pré-sal e a alta dos preços do petróleo, a Petrobras, maior operadora de óleo e gás do país, chegou a posição de 4ª maior empresa das Américas e sem dúvidas a maior empresa do país.

Perante cenário tão favorável resta-nos a pergunta, se os grandes campos da Petrobras são em sua maioria *offshore*, isto é, em alto mar, como trazer óleo e gás produzidos para as refinarias? A resposta que vem sendo encontrada é a construção de grandes oleodutos e gasodutos, cujas malhas no Brasil e no mundo vem crescendo a reboque do desenvolvimento da indústria petrolífera. Segundo o relatório anual da Agência Nacional de Petróleo (ANP), no ano de 2008, a infraestrutura dutoviária nacional era composta de 17 mil quilômetros de extensão e o que podemos esperar é que cresça ainda mais para os próximos anos.

O aço para tais dutos deve ter propriedades especiais pois devem operar a baixas temperaturas – a temperatura da água no fundo do mar, por exemplo, é de 4 °C – resistir a diversos tipos de esforços e o mais importante serem extremamente seguros e confiáveis, visto os grandes impactos ambientais gerados por um vazamento.

Neste trabalho avaliaremos as características dos aços API 5L X80, produzidos por laminação controlada e pertencentes a classe dos aços de Alta Resistência e Baixa Liga (ARBL), que são os mais utilizados nos sistemas dutoviários devido às excelentes combinações de resistência, tenacidade, soldabilidade e ductilidade conjugadas a menores pesos e custos construtivos.

Outra característica importante dos dutos amostrados é que estes foram curvados à quente. Como os dutos são utilizados em diferentes topografias, muitas vezes é necessário que estes sejam curvados. Entre outros motivos, a facilidade de operação faz com que se dê preferência ao curvamento à frio, entretanto, em alguns casos, o curvamento tem que ser realizado à quente, provocando um aquecimento localizado seguido de um resfriamento rápido da região. Tal processo pode provocar grandes diferenças microestruturais na seção, com alterações nas propriedades mecânicas, daí a importância de se analisar tais exemplares.

Embora os aços X80 apresentem boas tensões de escoamento e tenacidade ao impacto, quando ensaiados em tração ou por teste de impacto Charpy nota-se a formação de trincas centrais longitudinais conhecidas como delaminações. Estas estariam associadas a vários fatores tais como (1) inclusões, como MnS, (2) texturas, (3) falhas intergranulares ao longo, prioritariamente, dos contornos de austenita, (4) faixas de estruturas alongadas ao longo da direção de laminação, (5) segregação de P e S (6) anisotropia das microestruturas e (7) combinações destes fatores.

O objetivo deste trabalho é associar a presença destas delaminações com as energias dos testes de impacto Charpy.

## Materiais e Métodos Experimentais

### A. Materiais

Como este estudo faz parte de um projeto maior, as amostras utilizadas foram recebidas com o teste de impacto Charpy já realizado. Para um maior esclarecimento, faremos aqui um breve resumo dos materiais utilizados, baseado nas informações da dissertação de mestrado “*Curvamento por indução de tubo da classe API 5L X80*” de Gilmar Batista Zacca defendida nesta universidade no ano de 2006.

### O processo de laminação controlada

As propriedades mecânicas dos aços estruturais são função da microestrutura, sendo esta controlada pela composição química dos mesmos e do seu processo de fabricação. Para atender as exigências impostas pelo mercado, de aços cada vez mais resistentes e tenazes e com boa soldabilidade, diversas metodologias tem sido desenvolvidas na fabricação de chapas, entre as quais a laminação controlada.

No processo de laminação controlada são adicionados elementos de liga ao aço, a fim de evitar o crescimento de grãos em altas temperaturas, bem como, retardar a recristalização da austenita nos estágios finais da laminação. O produto final deste processo é um aço com uma granulação ferrítica fina, fornecendo elevada resistência mecânica e tenacidade.

### As propriedades do tubo

O tubo ensaiado do tipo API 5L X80 foi fabricado pelo processo UOE, isto é, primeiro dobra-se a chapa em U, depois conforma-se a mesma em O e é realizada a soldagem pelo processo de arco submerso, sendo o primeiro passe interno e o segundo externo. Em seguida, o tubo é submetido a uma expansão (“E”), para ajustar o seu diâmetro às tolerâncias da norma API 5L.

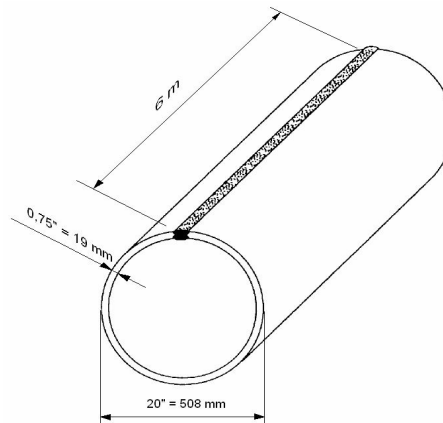


Figura 1 – Dimensões do tubo ensaiado

Para melhor avaliar os efeitos da curvatura no tubo, este foi dividido em diversas partes:

- |                                     |                                       |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1- Solda da parte reta.             | 2- Zona de transição do extradorso.   |
| 3- Extradorso.                      | 4- Solda na curva.                    |
| 5- Solda na zona de transição.      | 6- Linha neutra na zona de transição. |
| 7- Intradorso.                      | 8- Linha neutra na curva.             |
| 9- Zona de Transição do intradorso. | 10- Parte reta.                       |

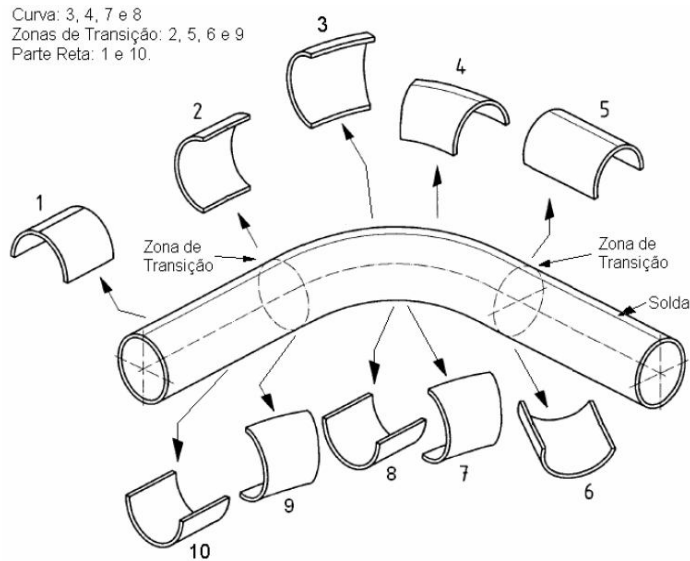


Figura 2 – Divisão do tubo ensaiado

### B. Métodos Experimentais

Foram retiradas amostras (2 ou 3 corpos de prova) das diversas partes do tubo mostradas acima. Estas foram retiradas em duas direções: longitudinal e transversal e ensaiadas a 0 °C, -20 °C, -40 °C, -60 °C e -80 °C.

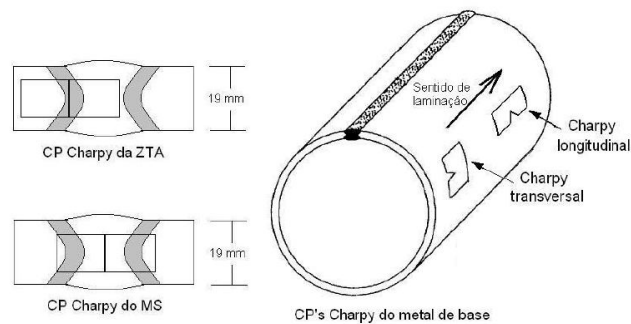


Figura 3 – Orientações dos corpos de prova e do entalhe para o ensaio Charpy

As superfícies das amostras foram fotografadas na lupa Zeiss SteREO Discovery v.8 e processadas no software Axiovision (Release 4.7.1/ 08-2008).

### Metodologia

Para facilitar a identificação, as amostras serão nomeadas, a partir de agora, com as seguintes siglas:

<b>CRH</b>	Corpo de prova Charpy na ZTA do trecho reto
<b>CRS</b>	Corpo de prova Charpy na Solda do trecho reto
<b>CRT</b>	Corpo de prova Charpy Transversal do trecho reto

<b>CRL</b>	Corpo de prova Charpy Longitudinal do trecho reto
<b>CIL</b>	Corpo de prova Charpy Longitudinal do Intradorso
<b>CIT</b>	Corpo de prova Charpy Transversal do Intradorso
<b>CZIT</b>	Corpo de prova Charpy Transversal da Zona de Transição do Intradorso
<b>CZIL</b>	Corpo de prova Charpy Longitudinal da Zona de Transição do Intradorso
<b>CEL</b>	Corpo de Prova Charpy Longitudinal do Extradorso
<b>CET</b>	Corpo de Prova Charpy Transversal do Extradorso
<b>CZET</b>	Corpo de Prova Charpy Transversal da Zona de Transição do Extradorso
<b>CZEL</b>	Corpo de Prova Charpy Longitudinal da Zona de Transição do Extradorso
<b>CS</b>	Corpo de Prova Charpy da Solda da Linha Neutra (solda na curva)
<b>CH</b>	Corpo de Prova Charpy da ZTA da Linha Neutra (solda na curva)
<b>CNL</b>	Corpo de Prova Charpy Longitudinal da Linha Neutra (oposta a solda na curva)
<b>CNT</b>	Corpo de Prova Charpy Transversal da Linha Neutra (oposta a solda na curva)
<b>CZNT</b>	Corpo de Prova Charpy Transversal da Zona de Transição da Linha Neutra (oposta a solda na curva)
<b>CZNL</b>	Corpo de Prova Charpy Longitudinal da Zona de Transição da Linha Neutra (oposta a solda na curva)

Tais siglas serão procedidas por um número que representa a temperatura de ensaio.

### **Classificação das Delaminações**

Um dos objetivos do trabalho é tentar estabelecer relações quantitativas entre o número de delaminações e a energia do teste Charpy, para tanto era necessário impor um critério de classificação às delaminações. Esta mostrou-se uma árdua tarefa visto que as delaminações são extremamente diferentes nas diversas regiões.



Figura 4 – Diferentes tipos de delaminação para a temperatura de -20°C

Devido a essas diferenças, o critério utilizado baseou-se apenas no comprimento das delaminações. É interessante observar que a largura até pode ser considerada proporcional a este comprimento, entretanto a profundidade não apresenta nenhuma correlação com o mesmo.

Classificou-se então as delaminações em três tipos:

Tipo	Comprimento(mm)
1	Maior ou igual a 3mm

2	$1\text{ mm} \leq \text{comprimento} < 3\text{ mm}$
3	Menor que 1mm

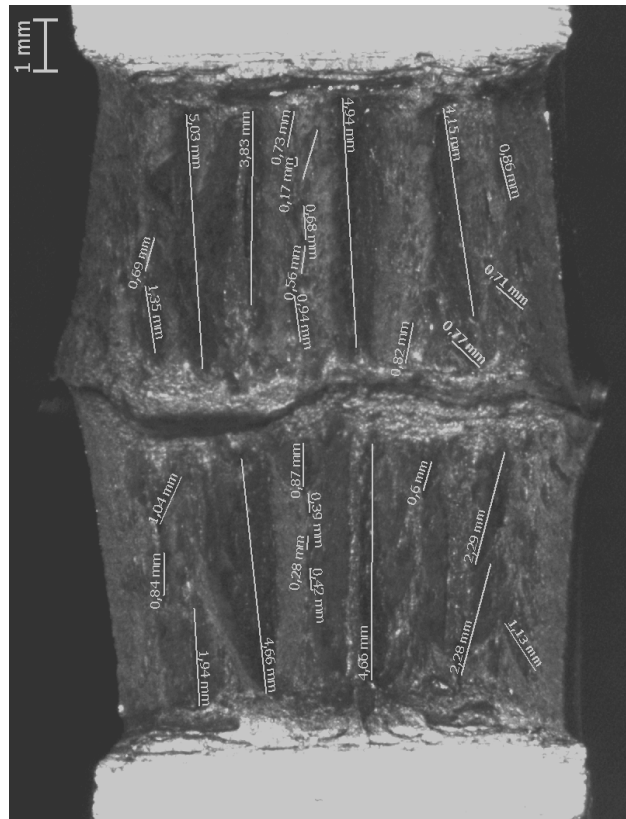


Figura 5 – Exemplo do processamento do CP CZNT43 no Axiovision

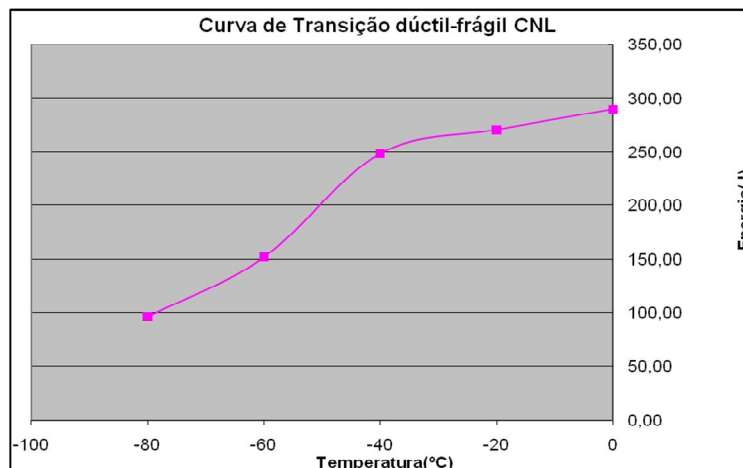
A contagem, realizada manualmente, era armazenada em uma planilha Excel para posterior tratamento dos dados. As curvas foram obtidas através de valores médios para cada temperatura.

### C. Resultados e Discussões

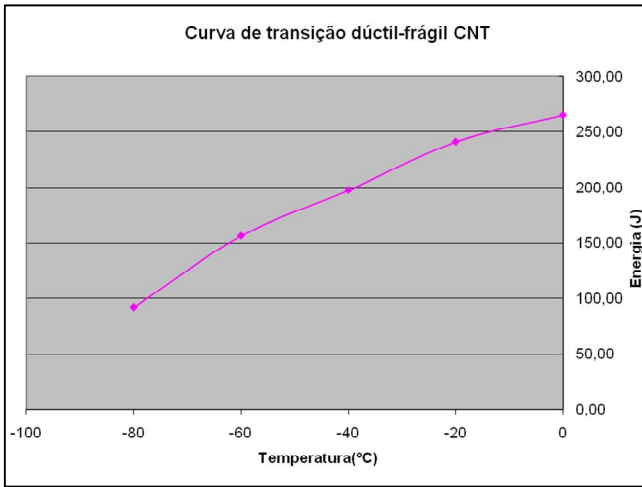
Para facilitar, dividiremos esta análise em duas etapas: com e sem delaminações.

#### Regiões sem a presença de delaminações

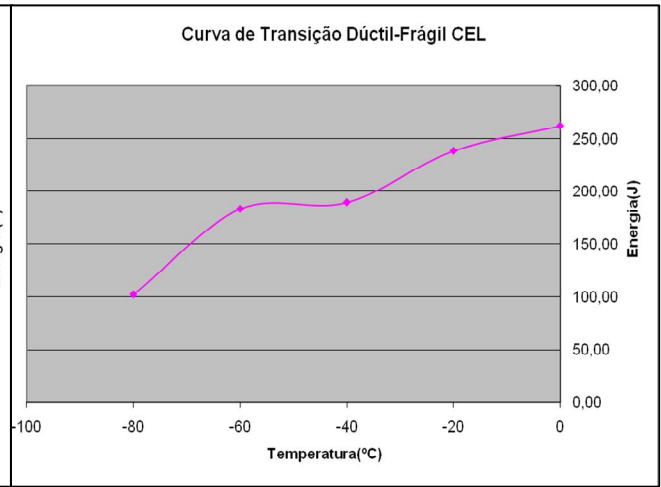
CNL



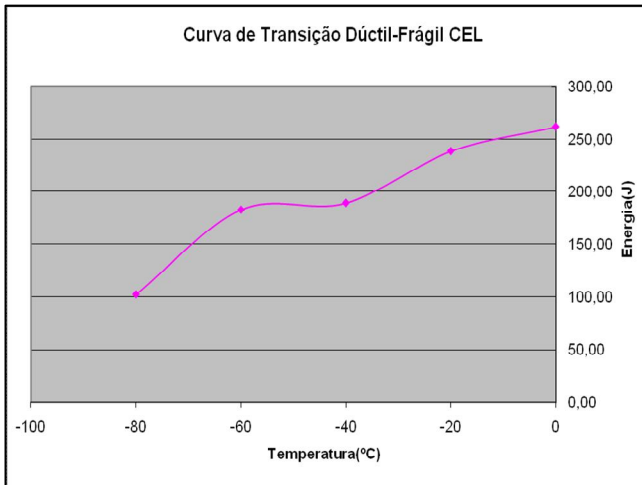
CNT



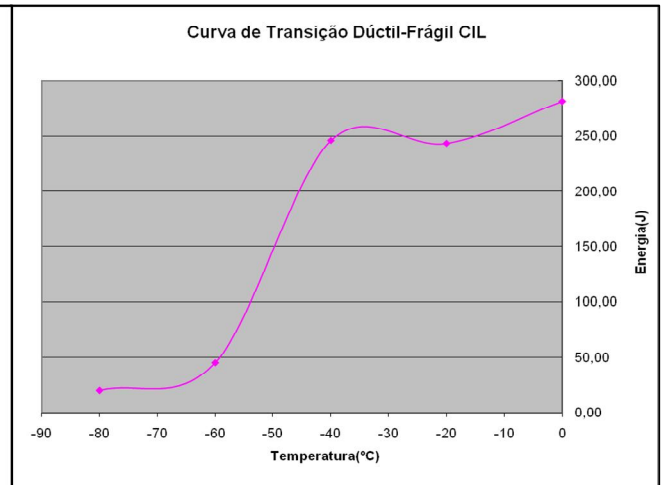
CEL



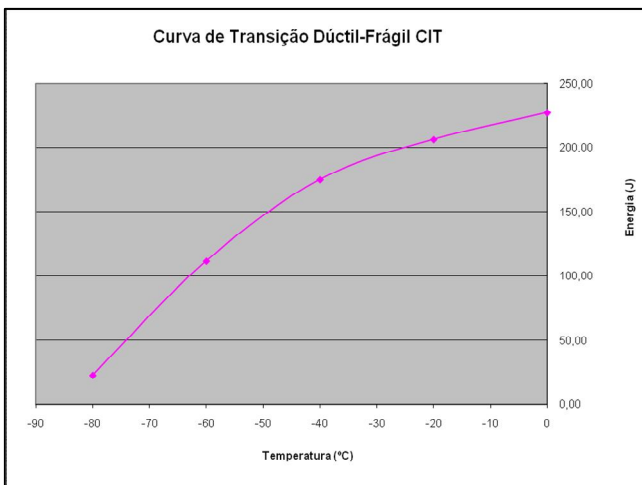
CET



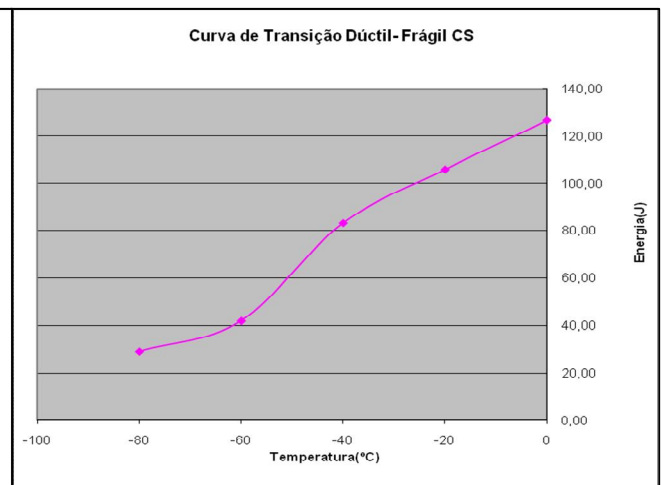
CIL



CIT

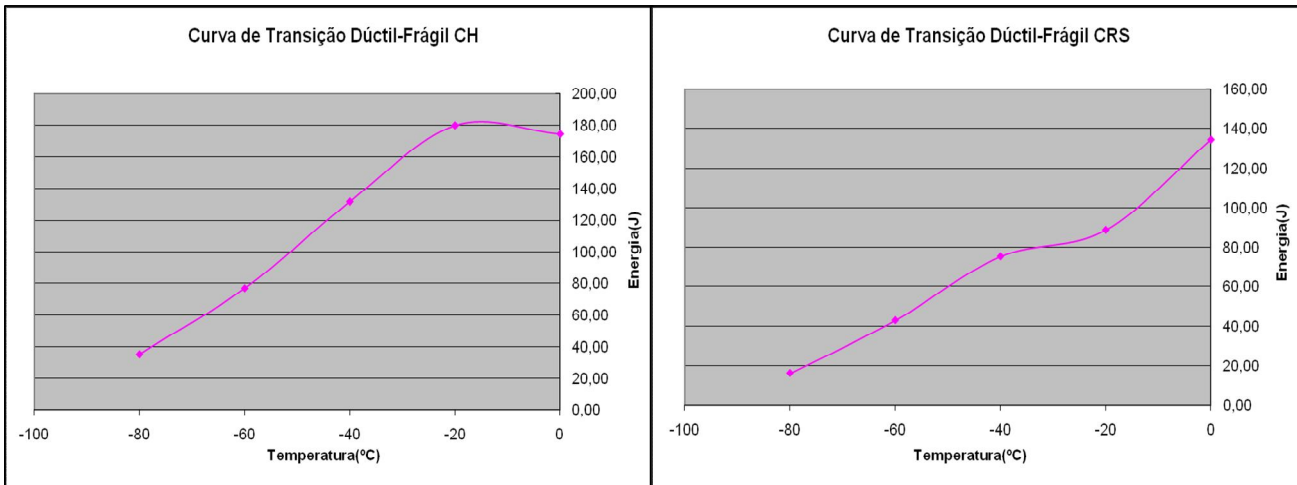


CS

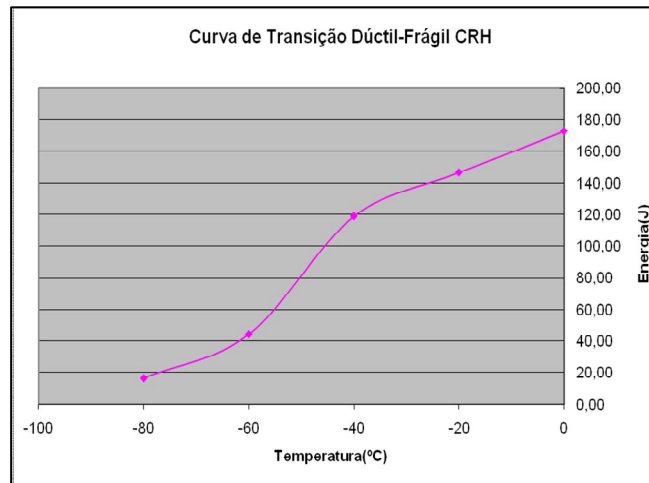


CH

CRS



CRH



A maioria dos corpos de prova que não contem delaminações encontra-se na curva ou na região da solda, o que indica que os processos de aquecimento e resfriamento e suas consequentes alterações cristalográficas implicaram numa nova microestrutura, na qual o processo de delaminação não ocorre.

A presença da classe CRH na categoria de regiões sem delaminação indica que o trecho reto talvez tenha sido mais afetado do que se imagina pelos processos de soldagem e, principalmente, curvatura. Como ela se encontra na zona termicamente afetada podemos imaginar que a alteração de temperatura foi suficiente para impedir o surgimento de delaminações.

As amostras retiradas da solda (figura 6) indicam esta nova cristalografia visível a olho nu. Elas mostram estruturas de aspecto bandeado entre claro e escuro, sendo uma comprovação da afirmação acima.

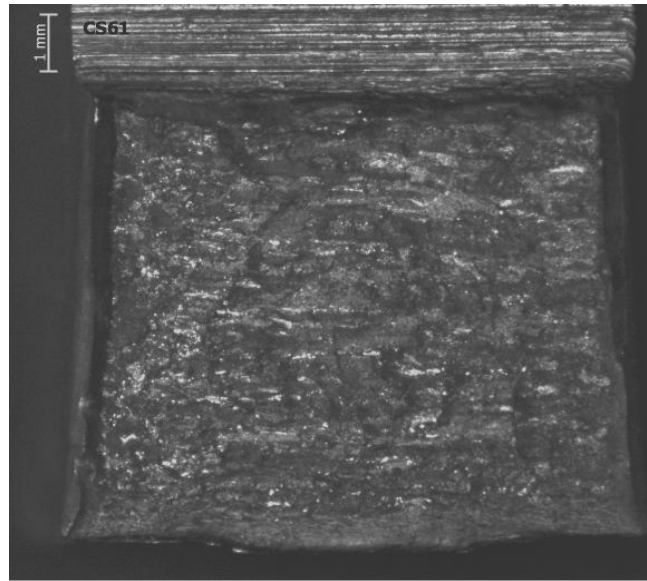


Figura 6 – Fotografia da amostra CS61

A superfície destas amostras muitas vezes apresenta-se severamente deformada, sendo até possível confundir algumas destas deformações com delaminações, mas estas eram apenas marcas da propagação de fraturas nos corpos de prova.

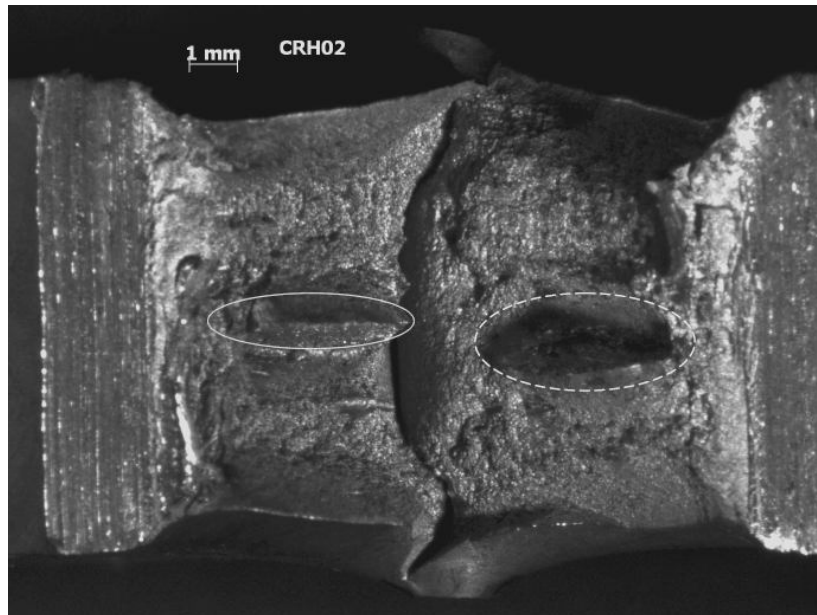


Figura 7 – Fotografia da amostra CRH02

Na figura 7, especialmente, há o destaque de duas regiões. Uma destas – linha tracejada – provocou muita dúvida em sua classificação por se assemelhar muito a uma delaminação do tipo 1. Entretanto, esta grande abertura no centro da amostra é ocasionada pela deformação do material que gerou uma espécie de pico no meio da amostra – linha pontilhada.

É importante ressaltar, que em algumas das amostras, delaminações até foram observadas, mas não de maneiras significativas e contínuas, de modo que pudessem gerar alguma alteração no material.

A respeito das curvas de transição dúctil-frágil, observa-se que a região de transição na maioria dos casos encontra-se nas proximidades da temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$ , excetuando-se as regiões CIT e CNT nas quais aparentemente não há uma região de transição.

No caso de CNT todos os valores de energia ficam próximos a 100J, conhecido patamar de energia para os aços fabricados e processados tais como este tubo, podemos então imaginar que uma região de transição mais visível ocorreria em temperaturas inferiores a  $-80^{\circ}\text{C}$ , podemos também concluir que os processos térmicos ocorridos nesta região – soldagem – o tornaram mais dúctil.

Já no caso da CIT a curva tem um aspecto parabólico e contínuo, não apresentando regiões de transição, entretanto utilizando o patamar de 100J podemos estimar a temperatura de transição em torno dos  $-60^{\circ}\text{C}$ , temperatura bem menor que nas outras regiões, mostrando que os efeitos da curvatura do tubo foram mais severos naquela região, alterando mais a microestrutura.

### Regiões com a presença de delaminações

#### CRT

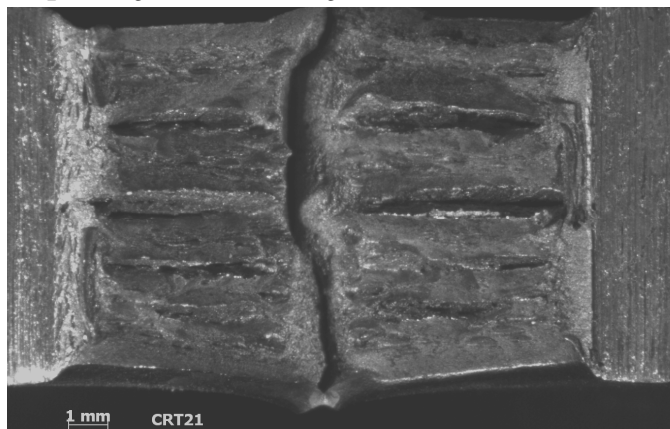
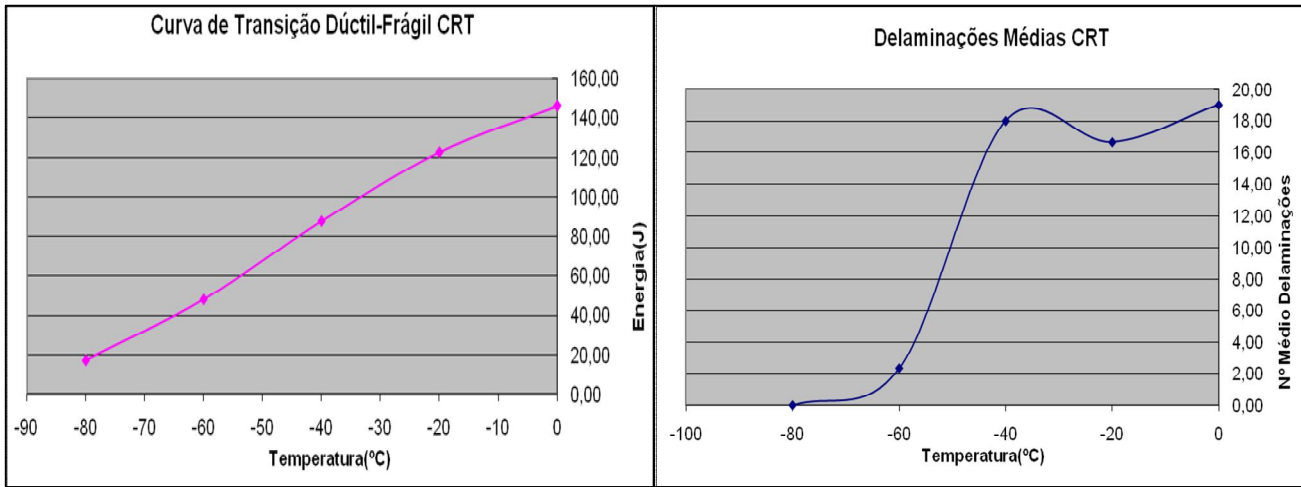


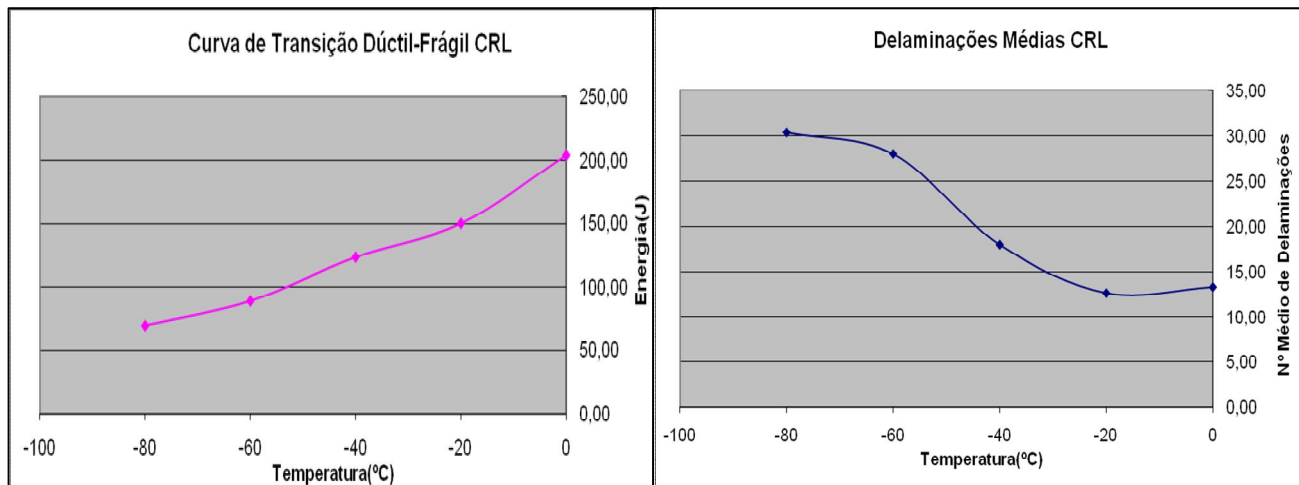
Figura 8 – Fotografia da amostra CRT21

RT	Temperatura	Delam. Médias	Energia média	Energia (J)	Total	Tipo1	Tipo2	Tipo3
RT81	-80	0,00	17,55	12,930	0	0	0	0
RT82	-60	2,33	48,26	11,880	0	0	0	0
RT83	-40	18,00	87,79	27,830	0	0	0	0
RT61	-20	16,67	122,67	27,330	2	1	1	0
RT62	0	19,00	146,04	83,030	0	0	0	0
RT63				34,430	5	0	5	0
RT41				90,070	15	4	7	4
RT42				98,610	13	3	5	5
RT43				74,690	26	2	7	17
RT21				120,250	13	3	4	6
RT22				127,51	16	3	7	6
RT23				120,25	21	5	6	10
RT01				143,47	18	4	3	11
RT02				146,85	21	3	9	9
RT03				147,8	18	5	4	9



CRL

CRL	Temperatura	Delam. Médias	Energia média	Energia (J)	Total	Tipo1	Tipo2	Tipo3
RL81	-80	30,33	69,82	54,540	46	5	15	26
RL82	-60	28,00	89,13	74,690	22	2	11	9
RL83	-40	18,00	123,64	80,240	23	8	7	8
RL61	-20	12,67	150,14	85,840	27	8	4	15
RL62	0	13,33	203,93	90,070	31	4	10	17
RL63				91,490	26	7	4	15
RL41				120,250	18	8	1	9
RL42				115,900	19	6	9	4
RL43				134,780	17	8	3	6
RL21				134,780	12	4	5	3
RL22				164,960	12	3	4	5
RL23				150,680	14	6	2	6
RL01				225,360	11	0	5	6
RL02				191,220	20	4	3	13
RL03				195,220	9	2	5	2



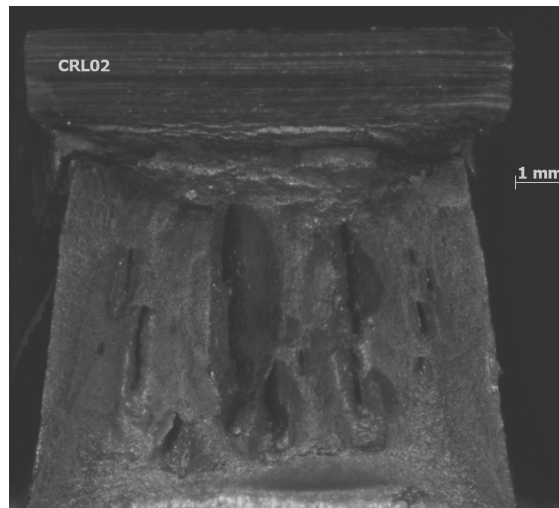


Figura 9 – Fotografia da amostra CRL02

Ambas amostras foram retiradas do trecho reto do tubo, não sendo assim afetadas pelos processos de curvatura e soldagem, por isso estas análises podem ser extrapoladas para o comportamento das chapas simples de aço.

Estabelecendo como padrão de transição dúctil-frágil o patamar de 100 J, podemos realizar uma comparação entre as duas regiões. No caso de CRT, podemos estimar que a temperatura de transição situa-se em, aproximadamente,  $-35^{\circ}\text{C}$ , nesta temperatura o número de delaminações também atinge seu pico.

Caso semelhante ocorre em CRL, mas nesta região algo diferente ocorre: a temperatura de transição fica próxima a  $-60^{\circ}\text{C}$ . O topo do número de delaminações ocorre em  $-80^{\circ}\text{C}$ , situação diametralmente oposta a anterior – sem delaminações na mesma temperatura.

Em ambos os casos predominam delaminações do tipo 3, porém em CRL observamos uma quantidade significativamente maior de delaminações do tipo 1. E de uma maneira geral, há muito mais delaminações em CRL do que em CRT. Como a composição do material é a mesma e as condições de ensaio também, podemos concluir que isto é influência da direção de laminação.

Em ambos os casos o número de delaminações aumenta com a diminuição da temperatura, mas em CRT, quando o material entra numa zona de comportamento frágil, as delaminações começam a diminuir. Isto se deve à competição entre os mecanismos formadores de delaminação e os mecanismos de clivagem, o que faz com que o tamanho das delaminações diminua progressivamente até que a clivagem prevaleça e não ocorra mais delaminações. Podemos imaginar que em CRL processo semelhante também vá ocorrer.

Logo, da análise destas duas regiões podemos chegar as seguintes conclusões: as delaminações são fortemente influenciadas pela direção de laminação; as delaminações aumentam seu comprimento e sua quantidade com a diminuição da temperatura, chegando a um pico na zona de transição; quando a clivagem se acentua, estas vão diminuindo gradualmente de tamanho, até não existirem quando a fratura é completamente frágil.

#### CZIT

<b>CZIT</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Delam. Médias</b>	<b>Energia média</b>	<b>Energia (J)</b>	<b>Total</b>	<b>Tipo1</b>	<b>Tipo2</b>	<b>Tipo3</b>
ZIT81	-80	0,00	12,96	11,88	0	0	0	0
ZIT82	-60	17,67	49,24	11,88	0	0	0	0
ZIT83	-40	27,00	89,18	15,13	0	0	0	0
ZIT61	-20	26,00	113,53	35,84	26	2	10	14

ZIT62	0	16,67	155,69	63,81	20	6	5	9
ZIT63				48,08	7	0	5	2
ZIT41				83,03	24	6	12	6
ZIT42				101,47	28	5	7	16
ZIT43				83,03	29	6	6	17
ZIT21				133,32	32	5	7	20
ZIT22				100,04	19	4	9	6
ZIT23				107,23	27	3	10	14
ZIT01				124,61	14	1	7	6
ZIT02				162,12	15	2	9	4
ZIT03				180,33	21	5	1	15

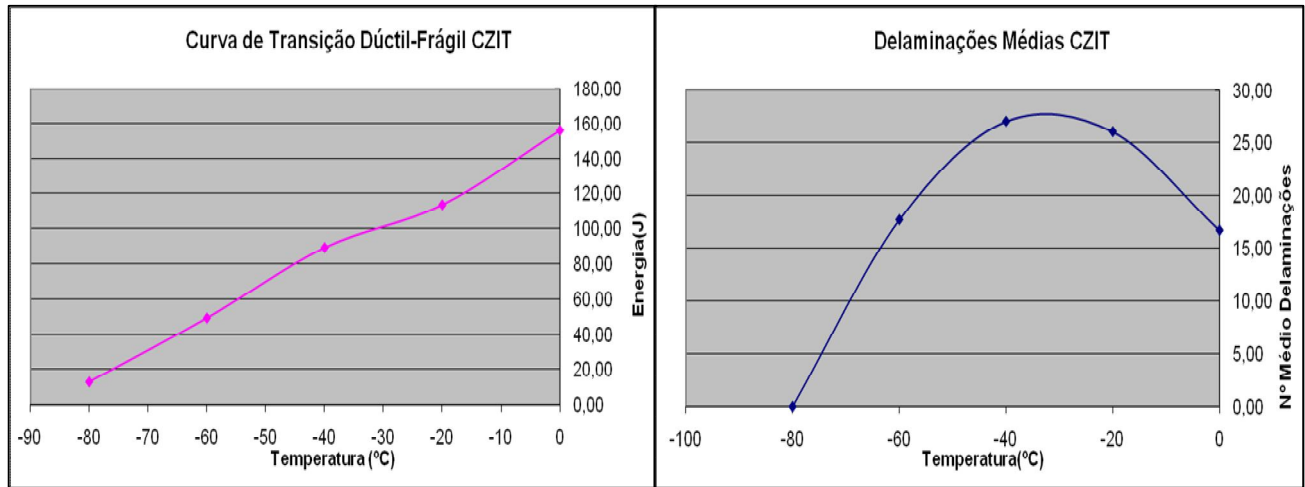
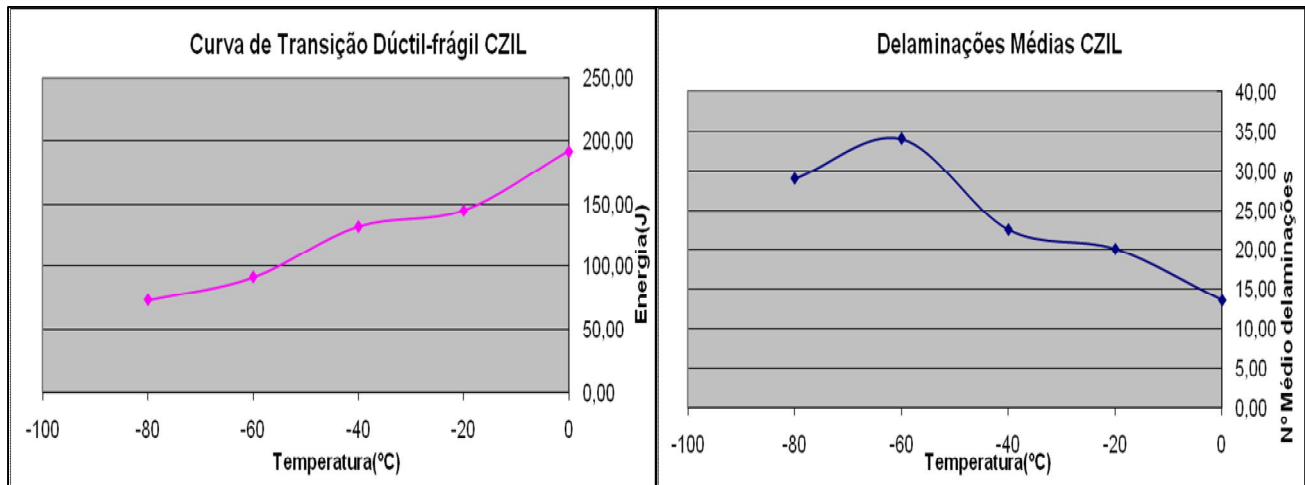


Figura 10 – Fotografia da amostra CZIT21

CZIL

CZIL	Temperatura	Delam. Médias	Energia média	Energia (J)	Total	Tipo1	Tipo2	Tipo3
ZIL81	-80	29,00	73,33	70,58	32	5	12	15
ZIL82	-60	34,00	91,49	76,07	26	7	6	13
ZIL61	-40	22,50	131,86	88,65	34	5	10	19
ZIL62	-20	20,00	144,91	94,33	34	8	7	19
ZIL41	0	13,50	191,60	143,47	23	5	4	14
ZIL42				120,25	22	7	3	12
ZIL21				146,35	21	4	5	12
ZIL22				143,47	19	3	4	12
ZIL01				205,67	10	0	6	4
ZIL02				177,52	17	1	8	8



Na região de CZIT, observamos que o pico do número de delaminações ocorre nas proximidades da temperatura de transição, como o esperado, a partir de então o número de delaminações vai diminuindo com o aumento do processo de clivagem, chegando a temperatura de -80°C com um comportamento de clivagem pura. O mesmo fenômeno ocorre em CZIL nas proximidades de -60°C, temperatura de transição.

Observamos em CZIL uma quantidade maior de delaminações, se comparada a CZIT. Este fenômeno poderia estar associado às diferentes posições e conseqüentes influências da temperatura nas amostras, mas como o fenômeno também foi observado no trecho reto podemos concluir que ele realmente ocorre em função da direção de laminação.

Assim, podemos concluir que a direção de laminação aumenta o número e o tamanho médio das delaminações e, por conseqüência, desloca a zona de transição dúctil-frágil para a esquerda, tornando o material mais dúctil.

CZEL

CZEL	Temperatura	Delam. Médias	Energia média	Energia (J)	Total	Tipo1	Tipo2	Tipo3
ZEL81	-80	27,50	85,25	97,18	32	6	7	19
ZEL82	-60	21,50	104,35	73,32	23	7	8	8
ZEL61	-40	23,50	133,32	102,91	23	6	9	8
ZEL62	-20	14,00	151,34	105,79	20	7	7	6
ZEL41	0	15,50	188,51	123,16	21	6	1	14
ZEL42				143,47	26	3	12	11
ZEL21				139,13	11	4	5	2
ZEL22				163,54	17	3	7	7

ZEL01			184,45	17	2	7	8
ZEL02			192,56	14	2	9	3

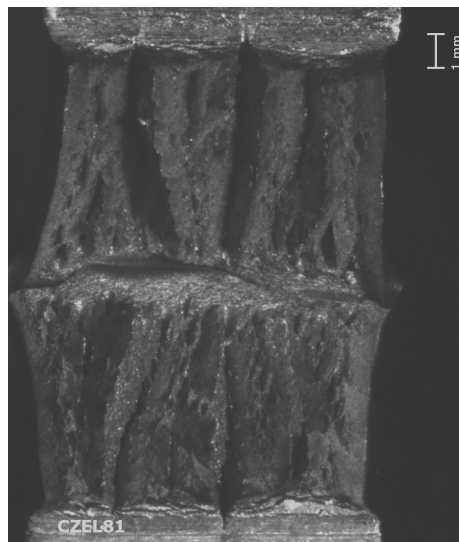
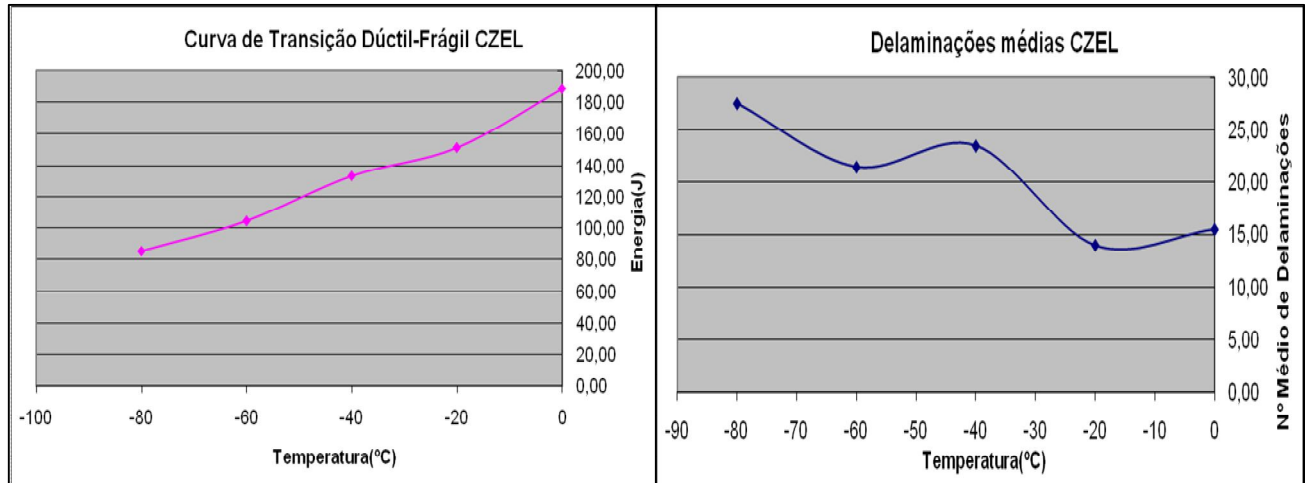


Figura 19 – Fotografia da amostra CZEL81

CZET

CZET	Temperatura	Delam. Médias	Energia média	Energia (J)	Total	Tipo1	Tipo2	Tipo3
ZET81	-80	0,00	13,01	9,81	0	0	0	0
ZET82	-60	14,67	71,42	19,4	0	0	0	0
ZET83	-40	26,67	75,62	9,81	0	0	0	0
ZET61	-20	20,00	134,68	61,14	14	4	5	5
ZET62	0	21,67	144,41	94,33	16	5	8	3
ZET63				58,8	14	4	9	1
ZET41				76,07	25	3	8	14
ZET42				77,46	32	6	17	9
ZET43				73,32	23	6	11	6
ZET21				142,02	22	5	7	10
ZET22				174,79	20	2	4	14

ZET23				87,24	18	5	6	7
ZET01				144,91	20	3	9	8
ZET02				133,32	24	2	6	16
ZET03				154,99	21	2	9	10

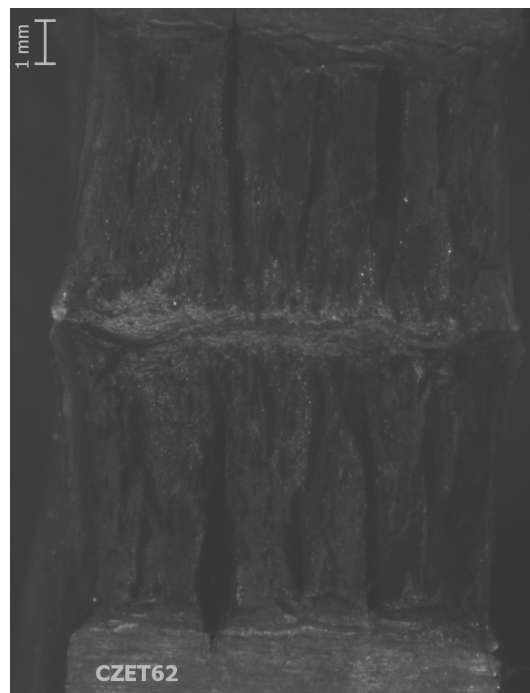
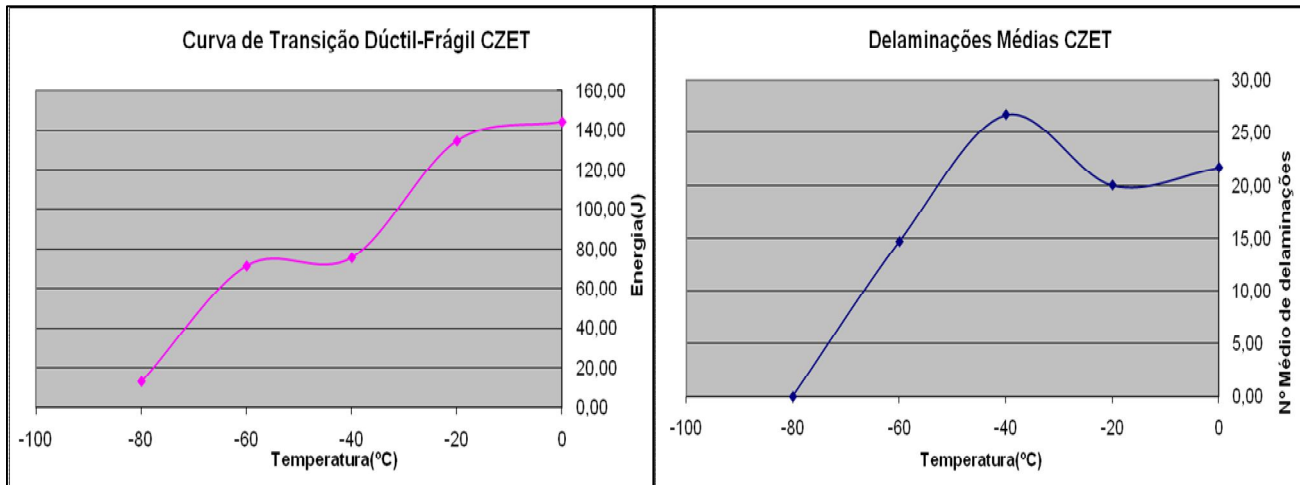


Figura 20 – Fotografia da amostra CZET62

As curvas da região do extradorso apresentam comportamento semelhante às da região do intradorso excetuando-se por um número ligeiramente maior na quantidade de delaminações.

CZNT

CZNT	Temperatura	Delam. Médias	Energia média	Energia (J)	Total	Tipo1	Tipo2	Tipo3
ZNT81	-80	0,00	17,98	20,51	0	0	0	0
ZNT82	-60	33,67	74,00	18,3	0	0	0	0

ZNT83	-40	41,67	110,19	15,13	0	0	0	0
ZNT61	-20	35,00	126,01	76,07	41	1	19	21
ZNT62	0	23,33	177,36	90,07	33	8	9	16
ZNT63				55,85	27	4	11	12
ZNT41				126,06	40	6	2	32
ZNT42				91,49	50	4	22	24
ZNT43				113,01	35	6	12	17
ZNT21				152,12	27	4	9	14
ZNT22				117,25	34	8	7	19
ZNT23				108,67	44	6	10	28
ZNT01				144,91	29	7	6	16
ZNT02				208,22	26	3	9	14
ZNT03				178,96	15	6	7	2

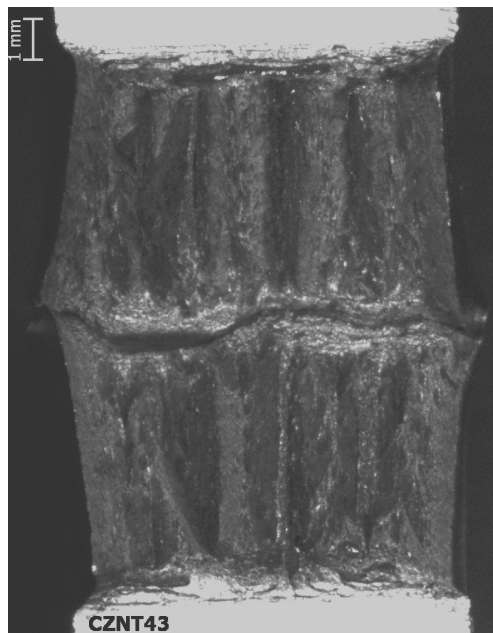
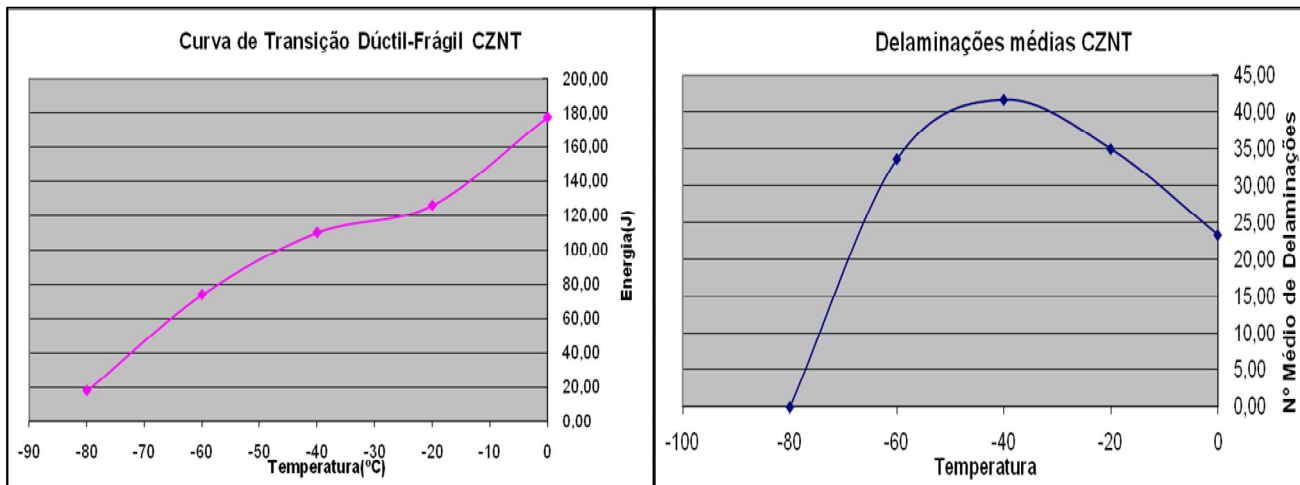
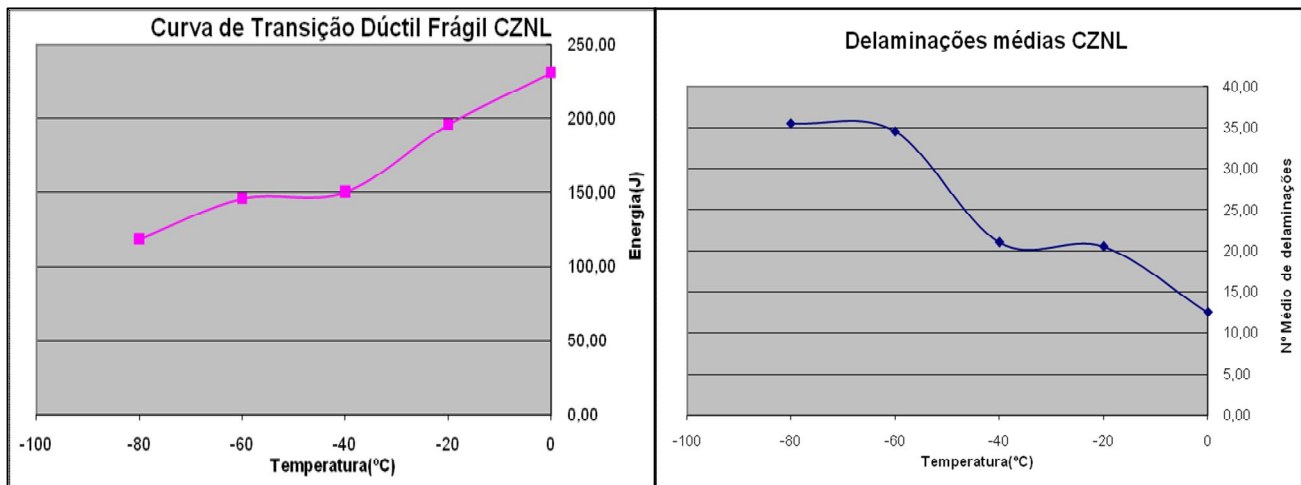


Figura 21 – Fotografia da amostra CZNT43

CZNL

CZNL	Temperatura	Delam. Médias	Energia média	Energia (J)	Total	Tipo1	Tipo2	Tipo3
ZNL81	-80	35,50	118,81	81,63	36	7	11	18
ZNL82	-60	34,50	146,20	81,63	35	7	10	18
ZNL61	-40	21,00	150,56	101,47	32	9	2	21
ZNL62	-20	20,50	196,01	100,04	37	8	5	24
ZNL41	0	12,50	230,89	113,01	25	5	13	7
ZNL42				124,61	17	6	7	4
ZNL21				167,79	19	1	6	12
ZNL22				133,32	22	6	8	8
ZNL01				258,69	12	0	7	5
ZNL02				203,09	13	1	7	5



As curvas de região da linha neutra tem o mesmo comportamento das anteriores, excetuando-se por um aumento no número de delaminações.

**D. Conclusões**

Pelas curvas obtidas podemos concluir que o reaquecimento das regiões submetidas à soldagem e, principalmente, à curvatura ocasionam uma mudança na microestrutura do aço, impedindo a formação de delaminações.

Observamos também que a direção de laminação influencia fortemente o número e o tamanho das delaminações. A diminuição da temperatura também faz aumentar o número de delaminações e, por consequência, diminuir o tamanho das mesmas – temperaturas mais baixas, predominância do tipo 3.

Outra observação importante é que as delaminações não se formam quando o material está sob um processo de fratura frágil, os mecanismos de clivagem impedem a formação e o crescimento de delaminações.

E por último observamos que quanto mais delaminações, mais dúctil o material, isto é, menor a temperatura de transição dúctil frágil.

## E. Referências

**Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**, 2009, Rio de Janeiro: ANP, 2009.

BATISTA, Gilmar Zacca; BOTT, Ivani de S.. **Curvamento por indução de tubo da classe API 5L X80**. Rio de Janeiro, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica)- Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

SALAMA, Mamdouh M. **Through-thickness properties of TMCP steels**. Transactions of the ASME, vol. 126, pp.346-349, 2004

SHIN, S.Y.; HONG, S.; BAE, J.; KIM, K.; LEE, S. **Separation Phenomenon occurring during the Charpy impact test of API X80 pipeline steels**. Metallurgical and Materials transactions A, vol. 40A, October 2009 pp.2333-2349

SILVA, Maurício de Carvalho, RUGGIERI, Cláudio. **Caracterização das propriedades mecânicas e metalúrgicas do aço API 5L X 80 e determinação experimental de curvas J-R para avaliação da tenacidade a fratura**. São Paulo, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval) – Universidade de São Paulo.

ZHENG, Y; CHUNYONG, H.; WANLIN,G..**The charpy Notch impact test of X70 Pipeline Steel with Delamination Cracks**. Key Engineering Materials, Vol. 297-30, 2005, pp. 2391-2396