

9

Resultados (Parte 06)

A parte 06 contempla os resultados de propriedades mecânicas em tração e energia absorvida Charpy obtidos para o curvamento com frequência de 500 Hz em comparação com outros curvamentos. Avalia também os efeitos dos tratamentos térmicos após o curvamento a quente nas propriedades mecânicas.

9.1.

Propriedades Mecânicas em Tração

A tabela 21 mostra os resultados dos ensaios de tração para todas as regiões analisadas resultantes do curvamento a quente utilizando a frequência de 500 Hz. A tabela 22 sumariza os valores de limites de escoamento e resistência médios, para a região curvada, a zona de transição e comparações com o trecho reto original, considerando as variações de parâmetros de curvamento a quente e tratamento térmico posterior. As figuras 88, 89 e 90 são representações gráficas dos resultados dos ensaios mecânicos de tração. Todos os corpos de prova ensaiados das juntas soldadas romperam no metal de base.

Tabela 21 – Propriedades médias em tração obtidas após curvamento (500 Hz)

Seção da Curva	LE (MPa)	LR (MPa)	LE/LR	AI (%)* (25,4 mm)
Trecho Reto**	586,7 ± 13	685,7 ± 3,5	0,86	22,9 ± 1,3
Intradorso	521,3 ± 0,6	683,7 ± 3,8	0,76	23,5 ± 0,6
ZT Intradorso	547,0 ± 33	698,7 ± 8,0	0,78	28,0 ± 3,1
Extradorso	553,7 ± 9,3	706,3 ± 0,6	0,78	25,2 ± 0,4
ZT Extradorso	539,0 ± 4,6	695,7 ± 2,9	0,77	23,9 ± 0,9
Linha Neutra (LN)	540,3 ± 13	692,7 ± 8,0	0,78	25,6 ± 0,8
ZT Linha Neutra	529,7 ± 17	698,3 ± 2,5	0,76	25,6 ± 2,8
LN (Junta Soldada)	(somente LR)	694,7 ± 8,0	0,70	36,2 ± 1,4
ZT LN (Junta Soldada)		700,7 ± 16	0,77	36,5 ± 2,3
TR (Junta Soldada)		696,7 ± 4,7	0,72	31,8 ± 0,7

* Corpos de prova da junta soldada (50,8 mm)

** Média de 3 corpos de prova.

Tabela 22 – Quadro comparativo de propriedades mecânicas em tração na curva para diferentes condições de processamento e carbono equivalente.

Condição	Região	LE (MPa)	Média Curva	LR (MPa)	Média Curva
Trecho Original** (Pcm = 0,17%)	Trecho Reto	604 ± 20	-	679 ± 8,7	-
Trecho Original (Pcm = 0,18%)	Trecho Reto	651 ± 11	-	726 ± 4,6	-
Como Curvado 2500 Hz (Pcm = 0,17%)	Intradorso	477 ± 10	475 ± 12	673 ± 1,5	666 ± 9,6
	Extradorso	472 ± 16		658 ± 8,6	
	Linha Neutra	-		-	
Curvado 2500 Hz Tratado a 500°C (Pcm = 0,17%)	Intradorso	529 ± 3,8	535 ± 5,5	616 ± 6,2	619 ± 9,1
	Extradorso	536 ± 1,0		613 ± 6,8	
	Linha Neutra	539 ± 5,6		628 ± 7,1	
Curvado 2500 Hz Tratado a 600°C (Pcm = 0,17%)	Intradorso	554 ± 3,0	556 ± 6,5	626 ± 6,0	627 ± 8,6
	Extradorso	558 ± 9,0		619 ± 3,0	
	Linha Neutra	557 ± 9,0		646 ± 6,0	
Como Curvado 2500 Hz (Pcm = 0,18%)	Intradorso	543 ± 6,7	540 ± 7,1	695 ± 7,5	697 ± 0,9
	Extradorso	535 ± 4,2		702 ± 3,2	
	Linha Neutra	542 ± 9,5		692 ± 6,1	
Como Curvado 500 Hz (Pcm = 0,17%)	Intradorso	521 ± 0,6	538 ± 16	684 ± 3,8	694 ± 11
	Extradorso	554 ± 9,3		706 ± 0,6	
	Linha Neutra	540 ± 13		693 ± 8,0	
Curvado 500 Hz Tratado a 600°C (Pcm = 0,17%)	Intradorso	581 ± 12	587 ± 8,3	654 ± 2,7	667 ± 11
	Extradorso	593 ± 3,5		679 ± 4,1	
	Linha Neutra	587 ± 1,2		668 ± 3,2	

** Média de 6 corpos de prova.

Deve ser mencionado que os resultados das propriedades mecânicas em tração do tubo curvado a 2500 Hz com Pcm= 0,18%, pertencem a dissertação de mestrado de Gilmar Zacca Batista [44] a qual também é parte desta mesma linha de pesquisa de estudos de aplicações dos aços API 5L X80.

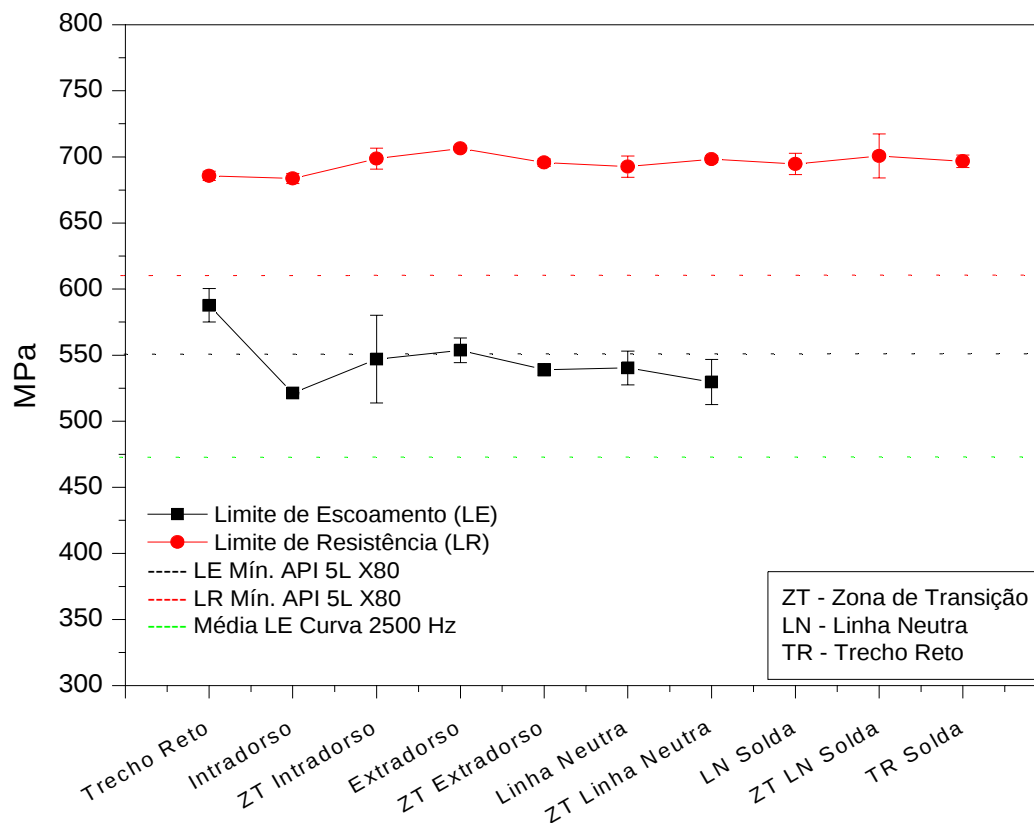


Figura 88 – Limites de escoamento e resistência após curvamento a quente utilizando frequência de 500 Hz. O rompimento dos corpos de prova da junta soldada ocorreu no metal de base.

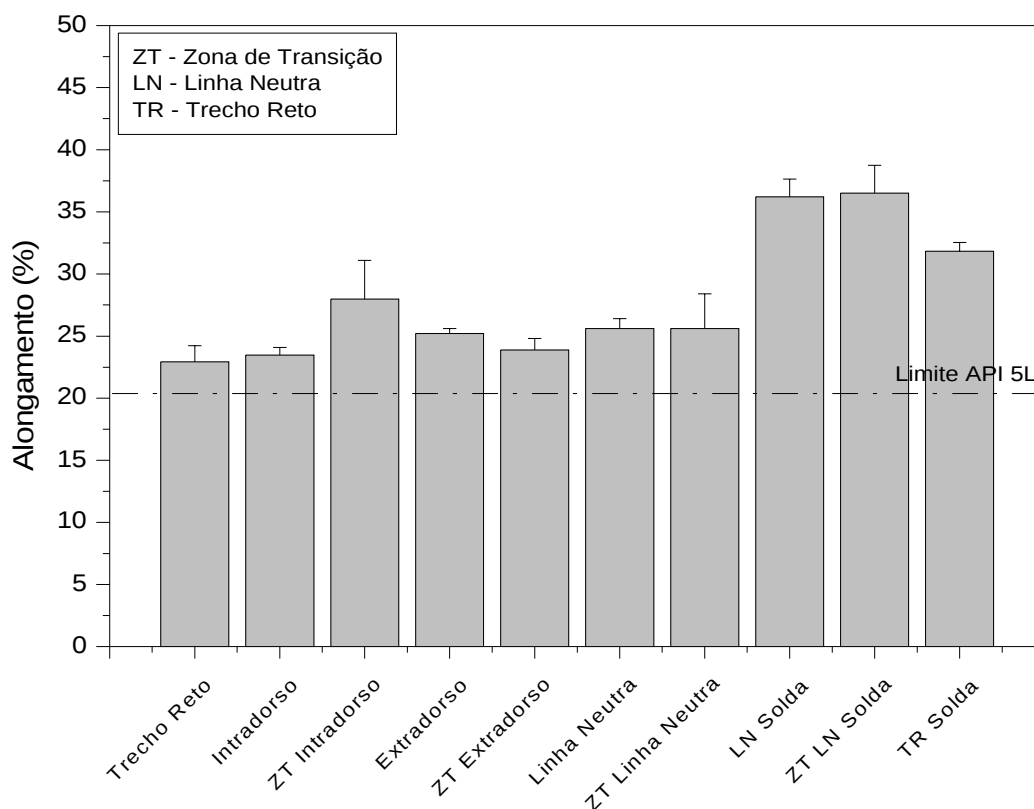


Figura 89 – Alongamento após curvamento a quente utilizando frequência de 500 Hz.

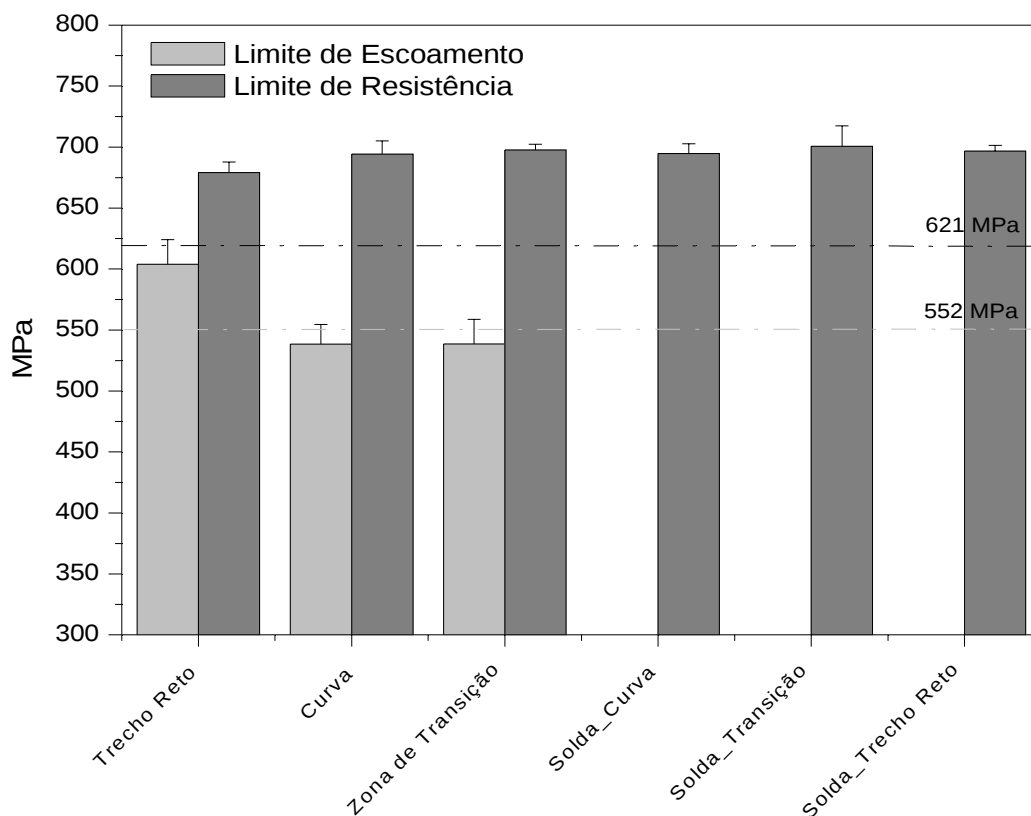


Figura 90 – Resumo (por região) para valores de limites de escoamento e resistência após curvamento a quente utilizando frequência de 500 Hz.

9.2. Energia absorvida Charpy

Os corpos de prova Charpy foram ensaiados a 0°C. Os resultados de energia de impacto absorvida Charpy estão na tabela 23 e gráfico da figura 91.

Tabela 23 – Energias Absorvidas para o ensaio de impacto Charpy V (0°C), como curvado 500 Hz e tratado termicamente a 600°C.

Seções da Curva	Como Curvado 500 Hz (J)	Após Tratamento Térmico 600°C (J)
Trecho Reto	182 ± 33	196 ± 34
Intradorso	293 ± 3	297 ± 4
ZT Intradorso	262 ± 20	296 ± 4
Extradorso	253 ± 11	244 ± 14
ZT Extradorso	282 ± 11	297 ± 3
Linha Neutra	294 ± 1	299 ± 1
ZT Linha Neutra	284 ± 6	298 ± 3
Junta Soldada	Metal de Solda	ZTA
Linha Neutra	111 ± 4	202 ± 12
ZT Linha Neutra	112 ± 6	215 ± 6
Trecho Reto	109 ± 10	143 ± 18

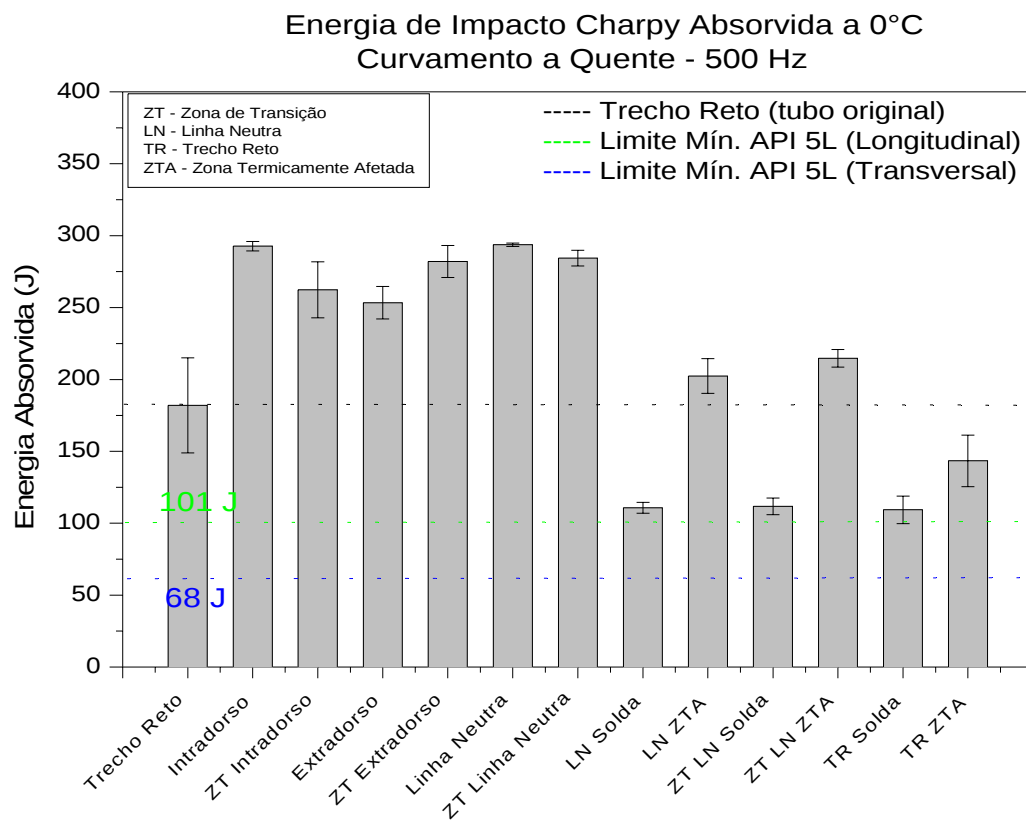


Figura 91 – Valores de energia absorvida Charpy obtidas após curvamento a quente utilizando frequência de 500 Hz.