



## Alternativas para a calibração da sensibilidade no ensaio por ultra-som de soldas de tubulações

Jorge L. Santin  
Pró End Consultoria Ltda  
Curitiba – PR – Brasil  
55 41 3332-0783  
[santin@proend.com.br](mailto:santin@proend.com.br)

Valter Waselewske  
Vistec Ltda  
Curitiba – PR – Brasil

### Resumo.

Para o ensaio por ultra-som de soldas circunferenciais de tubulações, a norma ASME Seção V, Artigo 4 requer o uso de bloco de calibração da sensibilidade curvo, com entalhes, com as mesmas dimensões (diâmetro e espessura) que a peça a ensaiar. Considerando as inúmeras variações de diâmetros e espessuras de tubulações encontradas nas refinarias de petróleo, por exemplo, este requisito cria uma grande dificuldade aos inspetores e para as empresas prestadoras de serviço, que necessitam dispor de uma enorme gama de blocos de calibração, para fazer frente as possíveis solicitações de ensaio.

O estudo realizado buscou encontrar soluções alternativas que, sem comprometer a sensibilidade requerida pela norma ASME, pudessem simplificar estes requisitos e conseqüentemente reduzir os custos do ensaio. Foi analisada a possibilidade de uso do bloco padrão plano, com furo transversal, requerido pela norma para o ensaio de soldas de vasos de pressão, em substituição ao bloco curvo com entalhe. Foi estudada, também, a possibilidade de usar apenas um bloco com entalhe, com determinada espessura, para ensaiar soldas de tubulações de mesma espessura mas com outros diâmetros.

### 1. Introdução

Para a execução do ensaio por ultra-som é necessária a calibração da sensibilidade correta do ensaio, que é determinada pela norma de projeto do equipamento sob ensaio.

Os métodos de calibração da sensibilidade mais utilizados são através de blocos de referência com descontinuidades artificiais, como furos transversais, furos de fundo plano e entalhes; e através do diagrama DGS (Distance-Gain-Size). É muito utilizado também para ensaio de materiais a calibração pelo eco de fundo obtido na própria peça.

Os refletores artificiais têm comportamento diferente (2). Enquanto que o ganho aumenta em 12 dB quando dobra-se o diâmetro do furo de fundo plano, aumenta-se apenas 3 dB com a duplicação do diâmetro do furo transversal. Com relação ao entalhe, observa-se um aumento do ganho com o aumento da altura do entalhe, porém isso ocorre apenas até um determinado valor (aproximadamente 4 mm utilizando-se um cabeçote angular, miniatura, de 4MHz). Um entalhe de 8 mm produz a mesma amplitude do eco na tela que um entalhe de 4 mm de altura. O que se tem observado na prática, utilizando-se o bloco curvo com entalhe, é uma sensibilidade aparentemente excessiva (grande quantidade de ruído) para pequenas espessuras (abaixo de 8 mm) e sensibilidade muito baixa para espessuras maiores (acima de 20 mm).

Para o ensaio por ultra-som de soldas circunferenciais de tubulações a norma ASME Seção V (1) requer o uso de bloco de calibração da sensibilidade com as mesmas dimensões (diâmetro e espessura) que a peça a ensaiar. Este requisito cria uma enorme dificuldade aos prestadores de serviço, em razão das grandes variações de diâmetro e espessuras encontradas nas refinarias de petróleo e outras unidades industriais. A confecção dos entalhes nos blocos curvos têm sido também bastante difícil, em razão da precisão requerida (profundidade do entalhe de 8 a 11% da espessura da peça), gerando um custo elevado de fabricação e calibração.

Entretanto, a norma ASME Seção V admite também a possibilidade de utilização de bloco de referência plano, com furos transversais, desde que comprovado que a sensibilidade é igual ou maior que a obtida com o bloco de entalhe. Um único bloco plano com furos transversais, proposto pela norma ASME, permite a calibração da sensibilidade para uma determinada faixa de espessuras de qualquer diâmetro de tubulação (exemplo: um bloco plano de 19 mm para ensaio de soldas com espessuras iguais ou inferiores a 25 mm).

O objetivo do trabalho foi o de analisar para quais faixas de espessuras a sensibilidade com o bloco plano com furos transversais é igual ou maior que a sensibilidade obtida com o bloco com entalhes, permitindo assim a substituição e analisar a possibilidade de usar apenas um bloco com determinada espessura para ensaiar soldas de tubulações de mesma espessura mas com outros diâmetros.

## **2. Ensaio Realizados**

### **2.1 Comparações de sensibilidade entre os métodos de calibração**

#### **2.1.1 Materiais empregados:**

- 01 Aparelho de ultra-som
- 08 Cabeçotes angulares conforme Tabela 1 (sem sapata correção da curvatura)
- 07 Bloco de referência curvos, atendendo os requisitos da norma ASME Seção V, Artigo 4, figura T-434.2.1, conforme Tabela 2
- 01 Bloco de referência plano, conforme ASME Seção V, Artigo 4, figura T-434.3, com furos transversais de 19 mm de espessura.

**Tabela 1 – Cabeçotes utilizados na comparação (Fabricante Krautkramer)**

Cabeçote Modelo	Frequência (MHz)	Ângulo nominal (graus)	Ângulo real (graus)
MWB45-4	4	45	43,5
MWB60-4	4	60	58,0
MWB60-4	4	60	61,0
MWB60-4	4	60	60,0
MWB70-4	4	70	71,5
MWB70-4	4	70	68,0
MWB70-4	4	70	69,0
KBA 70/Sapata 70°	5	70	70,0

**Tabela 2 – Resumo dos detalhes dimensionais dos blocos de referência**

Identificação do bloco	Diâmetro do tubo (pol.)	Espessura do tubo			Profundidade dos entalhes nominal (mm)	Profundidade do entalhe interno real (mm)	Profundidade do entalhe externo real (mm)
		Nominal		Real (mm)			
		(pol.)	(mm)				
1	8	0,322	8,18	8,4	0,82	0,79 – 0,79	0,89 – 0,89
2	12	0,312	7,92	8,5	0,79	0,77 – 0,84	0,80 – 0,84
3	6	0,500	12,70	11,2	1,27	1,19 – 1,21	0,99 – 1,04
4	20	0,500	12,70	13,5	1,27	1,34 – 1,39	1,37 – 1,39
5	6	0,562	14,27	14,3	1,43	1,29 – 1,42	1,28 – 1,38
6	10	0,594	15,09	15,8	1,51	1,55 – 1,62	1,40 – 1,49
7	32	0,750	19,05	18,8	1,91	1,63 – 1,65	1,89 – 1,99

### 2.1.2 Levantamento de dados:

Com cada um dos cabeçotes da Tabela 1 foi traçada a curva de referência primária e a curva de verificação das perdas por transferência com o bloco de referência plano, de 19 mm de espessura, conforme requisitos das normas ASME Seção V e PETROBRÁS N-1594F (3).

A seguir, com cada um dos blocos de referência curvos (Tabela 2) e cada cabeçote angular, foi verificado:

- A perda por transferência (PT) entre os dois blocos de calibração (plano e curvo).
- O ganho necessário para que o a indicação proveniente do entalhe (bloco curvo) coincidissem com a curva de referência traçada com o bloco plano (furo transversal).

As Tabelas 3 a 10 mostram os resultados obtidos nas medições.

**Tabela 3 - CABEÇOTE 43,5°**

BLOCO	DIÂMETRO (POL.)	ESPESSURA (mm)	BLOCO FURO			BLOCO ENTALHE GANHO (dB)	SISTEMÁTICA DE CALIBRAÇÃO MAIS SENSÍVEL
			GANHO PRIMÁRIO (dB)	PT (dB)	GANHO PRIMÁRIO CORRIGIDO (dB)		
1	8	8,4	-	-	-	-	
2	12	8,5	-	-	-	-	
3	6	11,2	20	+3	23	19	Furo
4	20	13,5	20	+2	22	16	Furo
5	6	14,3	20	+4	24	19	Furo
6	10	15,8	20	+2	22	17	Furo
7	32	18,8	20	0	22	20	Furo

**Tabela 4 - CABEÇOTE 58°**

BLOCO	DIÂMETRO (POL.)	ESPESSURA (mm)	BLOCO FURO			BLOCO ENTALHE GANHO (dB)	SISTEMÁTICA DE CALIBRAÇÃO MAIS SENSÍVEL
			GANHO PRIMÁRIO (dB)	PT (dB)	GANHO PRIMÁRIO CORRIGIDO (dB)		
1	8	8,4	16	-2	14	22	Entalhe
2	12	8,5	16	0	16	18	Entalhe
3	6	11,2	22	0	22	22	IGUAL
4	20	13,5	22	+2	24	20	Furo
5	6	14,3	22	+2	24	24	IGUAL
6	10	15,8	22	0	22	22	IGUAL
7	32	18,8	22	+2	24	22	Furo

**Tabela 5 - CABEÇOTE 61°**

BLOCO	DIÂMETRO (POL.)	ESPESSURA (mm)	BLOCO FURO			BLOCO ENTALHE GANHO (dB)	SISTEMÁTICA DE CALIBRAÇÃO MAIS SENSÍVEL
			GANHO PRIMÁRIO (dB)	PT (dB)	GANHO PRIMÁRIO CORRIGIDO (dB)		
1	8	8,4	24	+2	26	36	Entalhe
2	12	8,5	24	+2	26	30	Entalhe
3	6	11,2	24	+2	26	32	Entalhe
4	20	13,5	24	+2	26	28	Entalhe
5	6	14,3	24	+2	26	30	Entalhe
6	10	15,8	24	0	24	28	Entalhe
7	32	18,8	24	+2	26	30	Entalhe

**Tabela 6 - CABEÇOTE 60°**

BLOCO	DIÂMETRO (POL.)	ESPESSURA (mm)	BLOCO FURO			BLOCO ENTALHE GANHO (dB)	SISTEMÁTICA DE CALIBRAÇÃO MAIS SENSÍVEL
			GANHO PRIMÁRIO (dB)	PT (dB)	GANHO PRIMÁRIO CORRIGIDO (dB)		
1	8	8,4	22	+2	24	30	Entalhe
2	12	8,5	22	0	22	26	Entalhe
3	6	11,2	22	0	22	28	Entalhe
4	20	13,5	22	0	22	22	IGUAL
5	6	14,3	22	0	24	26	IGUAL
6	10	15,8	22	0	22	24	Entalhe
7	32	18,8	22	0	22	22	IGUAL

**Tabela 7 - CABEÇOTE 71,5°**

BLOCO	DIÂMETRO (POL.)	ESPESSURA (mm)	BLOCO FURO			BLOCO ENTALHE GANHO (dB)	SISTEMÁTICA DE CALIBRAÇÃO MAIS SENSÍVEL
			GANHO PRIMÁRIO (dB)	PT (dB)	GANHO PRIMÁRIO CORRIGIDO (dB)		
1	8	8,4	30	6	36	38	Entalhe
2	12	8,5	30	4	34	36	Entalhe
3	6	11,2	30	2	32	32	IGUAL
4	20	13,5	30	4	34	34	IGUAL
5	6	14,3	30	4	34	28	Furo
6	10	15,8	30	2	32	24	Furo
7	32	18,8	30	12	42	34	Furo

**Tabela 8 - CABEÇOTE 68°**

BLOCO	DIÂMETRO (POL.)	ESPESSURA (mm)	BLOCO FURO			BLOCO ENTALHE GANHO (dB)	SISTEMÁTICA DE CALIBRAÇÃO MAIS SENSÍVEL
			GANHO PRIMÁRIO (dB)	PT (dB)	GANHO PRIMÁRIO CORRIGIDO (dB)		
1	8	8,4	30	6	36	44	Entalhe
2	12	8,5	30	4	34	40	Entalhe
3	6	11,2	30	4	34	36	Entalhe
4	20	13,5	30	4	34	34	IGUAL
5	6	14,3	30	4	34	34	IGUAL
6	10	15,8	30	2	32	30	Furo
7	32	18,8	30	12	42	34	Furo

**Tabela 9 - CABEÇOTE 69°**

BLOCO	DIÂMETRO (POL.)	ESPESSURA (mm)	BLOCO FURO			BLOCO ENTALHE GANHO (dB)	SISTEMÁTICA DE CALIBRAÇÃO MAIS SENSÍVEL
			GANHO PRIMÁRIO (dB)	PT (dB)	GANHO PRIMÁRIO CORRIGIDO (dB)		
1	8	8,4	26	6	32	36	Entalhe
2	12	8,5	26	6	32	36	Entalhe
3	6	11,2	26	6	32	30	Furo
4	20	13,5	26	6	32	30	Furo
5	6	14,3	26	6	32	33	Entalhe
6	10	15,8	26	4	30	28	Furo
7	32	18,8	26	12	38	34	Furo

**Tabela 10 - CABEÇOTE SUB-MINIATURA 70°**

BLOCO	DIÂMETRO (POL.)	ESPESSURA (mm)	BLOCO FURO			BLOCO ENTALHE GANHO (dB)	SISTEMÁTICA DE CALIBRAÇÃO MAIS SENSÍVEL
			GANHO PRIMÁRIO (dB)	PT (dB)	GANHO PRIMÁRIO CORRIGIDO (dB)		
1	8	8,4	44	6	50	40	Furo
2	12	8,5	44	4	48	52	Entalhe
3	6	11,2	44	4	48	44	Furo
4	20	13,5	-	-	-	-	-
5	6	14,3	-	-	-	-	-
6	10	15,8	-	-	-	-	-
7	32	18,8	-	-	-	-	-

### 2.1.3 Resultados

a) Para o cabeçote angular de 45 graus (Tabela 3).

- A sensibilidade do ensaio com o bloco plano (furo) é maior que a obtida pela calibração com o bloco curvo (entalhe);
- Não foram testadas espessuras menores que 11,1 mm porque este cabeçote somente é utilizado em espessuras iguais ou maiores que 15 mm.

b) Para os cabeçotes angulares de 60 graus (Tabelas 4 a 8).

- Espessuras menores que 11,1 mm  
A sensibilidade do ensaio com o bloco curvo (entalhe) é maior que a obtida pela calibração com bloco plano (furo);
- Espessuras de 11,1 a 15,8 mm  
A sensibilidade do ensaio com o bloco curvo (entalhe) é, na maioria dos casos, maior ou igual que a obtida com bloco plano (furo);
- Espessuras maiores que 15,8 mm  
A sensibilidade do ensaio com bloco plano (furo) é igual ou maior que a obtida pela calibração com bloco curvo (entalhe);

Observações: A partir da espessura de 11,1 mm, na maioria dos cabeçotes, a sensibilidade entre as duas normas é quase coincidente (diferença menor ou igual a 4 dB) havendo inversões dependendo do ângulo do cabeçote.

c) Para o cabeçote angular de 70 graus (Tabelas 7 a 10)

- Espessuras menores que 11.1 mm  
A sensibilidade do ensaio com o bloco curvo (entalhe) é maior que a obtida pela calibração com bloco plano (furo);
- Espessuras 11.1 mm e maiores  
A sensibilidade do ensaio com bloco plano (furo) é igual ou maior que a obtida pela calibração com bloco curvo (entalhe);

## 2.2 Comparação entre blocos de mesma espessura mas com diferentes diâmetros

### 2.2.1 Materiais utilizados:

- 02 Aparelhos de ultra-som digitais (krautkramer e Sonatest)
- 02 cabeçotes 60 graus
- 02 cabeçotes 70 graus
- 01 bloco de referência diâmetro 16 polegadas espessura 9,2 mm
- 01 bloco de referência diâmetro 10 polegadas espessura 9,2 mm

### 2.2.2 Levantamento de dados

Primeiramente foi efetuada a calibração da sensibilidade nos blocos de calibração com 10" e 16" de diâmetro, e espessura de 9,2 mm (ambos). A seguir foi verificada a perda por transferência entre os blocos, com dois cabeçotes angulares, de mesmo fabricante e modelo, simulando a calibração com o bloco de 16" e a inspeção de uma solda no bloco de 10".

As tabelas 11 a 14 apresentam os resultados obtidos:

**Tabela 11 - Aparelho e Cabeçotes 70° Krautkramer**

Cabeçote	Bloco de referência		Ganho Primário	Perda por Transferência	Ganho Primário Corrigido
	Diâmetro (pol)	Espessura (mm)			
70°	10"	9,2	<b>66</b>	-	-
70°	16"	9,2	60	+5	<b>65</b>

**Tabela 12 - Aparelho e Cabeçotes 60° Krautkramer**

Cabeçote	Bloco de referência		Ganho Primário	Perda por Transferência	Ganho Primário Corrigido
	Diâmetro (pol)	Espessura (mm)			
60°	10"	9,2	<b>61,5</b>	-	-
60°	16"	9,2	54	+4,5	<b>59,5</b>

**Tabela 13 - Aparelho e Cabeçotes 70° Sonatest**

Cabeçote	Bloco de referência		Ganho Primário	Perda por Transferência	Ganho Primário Corrigido
	Diâmetro (pol)	Espessura (mm)			
70°	10"	9,2	<b>74</b>	-	-
70°	16"	9,2	72	+1	<b>73</b>

**Tabela 14 - Aparelho e Cabeçotes 60° Sonatest**

Cabeçote	Bloco de referência		Ganho Primário	Perda por Transferência	Ganho Primário Corrigido
	Diâmetro (pol)	Espessura (mm)			
60°	10"	9,2	<b>61</b>	-	-
60°	16"	9,2	57	+1	<b>58</b>

### 2.2.3 Resultados:

Os testes realizados mostraram uma semelhança nos ganhos após a correção das perdas por transferência, com diferença de ganho dentro de valores aceitáveis (diferença máxima de 3 dB).

### 3. Conclusões

Pelos resultados das comparações efetuadas pode-se concluir:

1. Para espessuras acima de 15,8 mm (todos os diâmetros), a sensibilidade obtida pela calibração efetuada utilizando o bloco com furo é sempre igual ou maior que a obtida com o bloco curvo com entalhe.
2. Para espessuras abaixo de 11,1 mm (todos os diâmetros) a maioria das calibrações efetuadas utilizando-se o bloco curvo com entalhe levam a uma maior sensibilidade no ensaio.
3. Entre 11,1 mm e 15,8 mm as calibrações efetuadas pelos dois métodos apresentam sensibilidade semelhante, dentro de valores de até  $\pm 4$  dB.



4. Para o ensaio de soldas de tubulações com espessuras a partir de 15,8 mm pode ser utilizado o bloco plano, conforme norma ASME Seção V, Artigo 4, figura T-434.2.1, pois a sensibilidade do ensaio será igual ou maior que aquela obtida com o bloco curvo com entalhe.
5. Os testes realizados utilizando blocos com entalhes de mesma espessura e diferentes diâmetros mostraram-se promissores sendo, entretanto, recomendável um estudo mais abrangente (maior quantidade de diâmetros) antes da adoção desta opção.

### **Referências Bibliográficas**

1. Norma ASME Section V, Nondestructive Examination, Edição 2004, Addenda 2006
2. Livro Ultra-som - Técnica e aplicação; Santin, J.L; 1997, 287págs
3. Norma Petrobrás N-1594F - Ensaio Não Destrutivos - Ultra-som