



1. ESCOPO

1.1 Este procedimento estabelece o método de ensaio por emissão acústica (EA), aplicado em cilindros sem costura para armazenamento de gás comprimido.

1.1.1 Este método não é aplicável em cilindros que trabalham em condições criogênicas.

1.2 Este método exige pressurização a um nível maior que a pressão normal de trabalho.

1.2.1 O meio para a pressurização pode ser líquido ou gasoso.

1.3 Este ensaio de EA se utiliza para detectar e localizar áreas ativas.

1.3.1 Para o dimensionamento e caracterização dos defeitos devem ser utilizados outros ensaios não destrutivos (END).

2. REFERÊNCIAS NORMATIVAS

Os documentos normativos seguintes contêm disposições, as quais, mediante sua citação no texto, transformam em disposições válidas para aplicação neste procedimento. As edições indicadas são vigentes no momento desta publicação. Todo documento é suscetível de ser revisado e as partes que realizam acordos baseados neste procedimento devem buscar a possibilidade de aplicação de suas edições mais recentes.

NM 302:2005 – Ensaio por Emissão Acústica (EA) – Terminologia.

NM 303:2005 – Ensaios não destrutivos. Análise de emissão acústica de estruturas durante a estimulação controlada.

NBR- 15242 – Montagem de sensores Piezo-elétrico de contato para Emissão Acústica.

NBR – 15360 – Caracterização da Instrumentação de Emissão Acústica.

NBR – 15361 – Determinação da Reprodutibilidade da Resposta do Sensor de Emissão Acústica.

3. DEFINIÇÕES

Para os fins do presente procedimento, aplicam-se as definições seguintes:

3.1 Defeito crítico: Defeito cujas medidas, em condições de serviço, dão como resultado uma propagação.

3.2 Defeito aceitável: Defeito cujas medidas máximas são inferiores ao tamanho crítico, cálculo através dos recursos da mecânica da fratura.

3.3 Área ativa: Região do corpo do cilindro portadora de fontes de emissão acústica, tais como: anomalias na estrutura (descontinuidades, desvios metalúrgicos ou deformações plásticas acentuadas).

3.4 Pressão de trabalho (serviço): Pressão para o qual está especificado o cilindro.

NOTA – Normalmente está estampada no cilindro.

3.5 Pressão de ensaio: Pressão ao qual deve ensaiar-se o cilindro com um valor 10% maior que a pressão de trabalho.

3.6 Ensaio não destrutivo complementar: Ensaio não destrutivo (END) aplicado nas áreas ativas, para dimensionamento e caracterização dos defeitos.



4. EQUIPAMENTO

O equipamento necessário para a execução do ensaio está ilustrado na figura 1.

4.1 Sensores

4.1.1 Os sensores de EA devem ser ressonantes entre 100 kHz e 300 kHz.

4.1.2 A sensibilidade deve ser igual ou maior que 77 dBV, referente a 1 V/ μ bar, determinada por um pulso ultra-sônico face a face, com sensor de EA em banda de frequência entre 100 kHz a 300 kHz.

4.1.3 Os sensores devem ser protegidos da interferência eletromagnética ou ser construídos com conectores diferenciados ou ter ambas características.

4.1.4 Os sensores devem ser isolados eletronicamente das superfícies condutoras, por meio de material isolante.

4.2 Cabos de sinais

4.2.1 O comprimento do cabo de sinal de conexão entre sensores e pré-amplificadores deve ser de 1,80 m no máximo.

4.2.2 Os cabos de sinais devem ser protegidos da interferência eletromagnética, sendo geralmente adequados os cabos coaxiais convencionais.

4.3 Acoplante

4.3.1 O acoplante deve proporcionar um acoplamento acústico eficiente durante todo o ensaio.

NOTA – Como acoplante, geralmente se utiliza vaselina, graxa, etc.

4.3.2 O acoplante deve manter suas propriedades com relação à faixa de temperatura em que se está realizando o ensaio.

4.3.3 Os adesivos podem ser utilizados como acoplantes, sempre que possuírem e mantiverem as propriedades de acoplantes acústicos e sejam estáveis com a temperatura.

4.4 Pré-amplificadores

4.4.1 Os pré-amplificadores devem possuir um ruído menor que 7 μ Vrms (curto-circuitado na entrada) dentro do âmbito dos filtros instalados.

4.4.2 O ganho de pré-amplificação deve ter uma precisão de ± 1 dBV, dentro do intervalo de frequência e para a faixa de temperatura especificada.

4.4.3 Os pré-amplificadores devem ser protegidos contra a interferência eletromagnética.

4.4.4 Os pré-amplificadores de construção diferencial devem possuir um modo de rejeição de no mínimo 40 dB.

4.4.5 Os pré-amplificadores devem incluir filtros na faixa entre 100 kHz e 300 kHz.

4.5 Cabo de sinal/energia

O cabo de sinal/energia alimenta o pré-amplificador e conduz o sinal ao processador principal. Este deve ser protegido contra a interferência eletromagnética. A perda do sinal deve ser menor que 1 dB para cada 30 m de comprimento.



4.6 Fonte de alimentação

Deve ser uma fonte estabilizada e com descarga de terra que atenda a especificação de alimentação do processador de sinais, que deve ser dimensionada adequadamente.

4.7 Processador de sinal

4.7.1 Os circuitos eletrônicos, envolvidos neste equipamento, devem operar em uma faixa de temperatura compreendida entre 4°C e 40°C, com uma precisão de ± 2 dB.

4.7.2 A precisão do limite de referência deve ser de ± 2 dB.

4.7.3 Os parâmetros de EA processados pelo circuito podem ser: contagem, picos de amplitude, tempo de chagada, duração, energia, valor RMS, etc. A pressão interna do cilindro, durante a pressurização, deve também ser registrada e armazenada simultaneamente com os dados de EA.

4.8 Características gerais do equipamento

4.8.1 O acoplante acústico deve ser necessariamente utilizado como interface entre a superfície dos sensores e a do cilindro.

4.8.1.1 Os adesivos devem possuir propriedades acústicas ou uma combinação de adesivos e acoplantes acústicos convencionais.

4.8.2 Os sensores podem ser fixados por prendedores magnéticos, fitas adesivas ou outros meios mecânicos que não produzam ruídos.

4.8.2.1 Os sensores de EA são utilizados para detectar ondas elásticas, ondas mecânicas transientes, originadas em uma falha localizada no material.

4.8.2.2 Os sensores devem ser acusticamente acoplados no corpo do cilindro.

4.8.3 O pré-amplificador de sinais pode ser integrado ao sensor ou separado deste, dentro de uma proteção adequada. No último caso, o comprimento do cabo de conexão entre o sensor e o pré-amplificador (cabo de sinais) deve ser de 1,80m no máximo.

4.8.4 O comprimento do cabo de sinal/energia que conecta ao pré-amplificador (ou sensor, quando integrado) e o processador de sinais deve ser de 150 m no máximo (ver tabela 1).

4.8.5 O processador de sinais deve ser um equipamento computadorizado com canais independentes, provido de filtros, processamento de parâmetros, conversor análogo-digital, unidade de armazenamento permanente de dados e monitor de apresentação de dados.

4.8.5.1 O processador de sinais deve possuir velocidade suficiente e capacidade de armazenamento, para processar simultaneamente as informações em canais independentes.

4.8.5.2 O processador deve ser capaz de apresentar os dados, depois de ser arquivados, com disponibilidade de pós-filtragem.

4.8.6 A calibração deve ser realizada de acordo com os itens 4.8.6.1 a 4.8.6.3.

4.8.6.1 A calibração e a verificação do transdutor de pressão, dos sensores de EA, dos pré-amplificadores e, quando estiverem presentes, o processador de sinais e o simulador de forma de onda, devem ser realizadas em frequência definida pelo operador do sistema, considerando as condições e frequência de uso.

4.8.6.2 A instrumentação que compõe o equipamento de EA deve ser calibrada de acordo com as especificações do fabricante.



4.8.6.3 Os equipamentos utilizados na calibração devem estar verificados por um organismo autorizado.

4.8.7 O desempenho do equipamento deve ser segundo o indicado em 4.8.7.1/6.

4.8.7.1 A rotina de validação do desempenho do processador de sinais deve poder ser realizada em qualquer instante. Um simulador eletrônico de forma de onda pode ser utilizado para esta validação.

4.8.7.2 Cada canal do processador de sinais deve responder com uma variação de pico de amplitude de ± 2 dBV, em relação a saída do simulador de forma de onda.

4.2.7.3 A verificação de desempenho do equipamento deve ser executada imediatamente antes e depois de cada ensaio, por intermédio de um equipamento que introduza ondas de tensão no corpo do cilindro a uma distância específica de cada sensor. As ondas de tensão, induzidas desta forma, devem estimular os sensores do mesmo modo que as emissões provocadas pelos defeitos.

4.8.7.4 A verificação de desempenho do equipamento deve realizar-se em todos os componentes, incluindo os acoplamentos de interfaces entre os sensores e o corpo do cilindro.

4.8.7.5 A técnica recomendada para verificar o desempenho de um equipamento é a quebra de um grafite de dureza 2H, de 0,3 mm de diâmetro e de um comprimento aproximado de 2 mm, que se coloca em contato com o corpo do cilindro, nas posições próximas aos sensores (distância menor que 40 mm de cada sensor) e a meia distância entre eles.

4.8.7.6 Complementando o indicado em 4.8.7.3 e 4.8.7.5, recomenda-se a fratura de outros grafites em pontos específicos do corpo do cilindro, a fim de verificar a capacidade de localização do equipamento.

5. ENSAIO

5.1 Princípio do ensaio

5.1.1 Os sensores de EA devem ser acoplados ao cilindro e conectados ao processador de sinais (segundo a figura 1).

5.1.2 O processador de sinal deve utilizar o tempo de chegada da emissão em cada sensor, para determinar a localização da área ativa. Isto deve ocorrer sempre que o sinal de emissão ultrapasse o limite de referência ajustado no equipamento (ver tabela 1).

5.1.3 As áreas ativas localizadas no cilindro devem ser inspecionadas por meio de ensaios não destrutivos complementares (ver anexo A).

5.1.4 O ensaio de EA pode ser aplicado 12 meses após o último ensaio hidrostático.

NOTA: O efeito Kaiser, fenômeno presente no método de EA, estabelece a diminuição de EA, durante o segundo ciclo de pressurização, realizado ao mesmo nível de pressão do ciclo anterior. Os ensaios hidrostáticos usuais são realizados a pressões relativamente altas (1,5 a 1,67 vezes a pressão de serviço). No caso de ensaios de EA que sejam realizados em períodos menores que 12 meses, com respeito ao último ensaio hidrostático, as emissões acústicas podem ser insignificantes, devido ao nível de pressurização proposto neste procedimento (1,1 vezes a pressão de serviço).

5.1.5 A pressurização deve ser realizada segundo o indicado em 5.1.5.1 a 5.1.5.6.

5.1.5.1 O procedimento recomendado na operação de carga dos cilindros é utilizar baixas velocidades de enchimento. Este procedimento garante uma operação segura. O ensaio de EA deve ser executado com velocidades de pressurização que permitam a deformação do cilindro em equilíbrio com a aplicação da carga. Os valores de velocidade de pressurização normalmente utilizados e recomendados estão na ordem de 3,5 MPa/h.



5.1.5.2 O enchimento do cilindro leva ao aquecimento do fluido por efeito termodinâmico. Depois da pressurização a temperatura decresce, na medida em que o cilindro entra em equilíbrio com as condições do meio ambiente.

5.1.5.3 A EA é causada pela propagação de defeitos e também por fontes secundárias, como, por exemplo, o atrito entre as superfícies da trinca, a ruptura de produtos de corrosão ou incrustação.

5.1.5.3.1 As fontes secundárias de EA podem provocar emissões acústicas durante a pressurização, mesmo a pressões abaixo da pressão de serviço.

5.1.5.4 Quando a pressão interna do cilindro for baixa e o meio de pressurização for gasoso, a velocidade do fluxo de gás é relativamente alta. A turbulência provocada pelo fluxo, assim como, o impacto de eventuais partículas transportadas pelo gás podem produzir emissões acústicas detectáveis. Considerando este aspecto, a aquisição de dados do ensaio de EA deve ser iniciada a partir de 1/3 da máxima pressão de ensaio. Este critério aplica-se também quando o fluido de ensaio é um líquido.

5.1.5.5 Os defeitos significativos podem produzir emissões acústicas originadas a partir de fontes secundárias. As fontes secundárias são responsáveis por emissões acústicas a pressões menores que a pressão normal de serviço. A pressão de ensaio deve ser 10 % maior que a pressão de trabalho e permitir a detecção de emissões acústicas originadas em fontes secundárias, bem como a propagação de defeitos.

5.1.6 O ruído excessivo pode distorcer a aquisição de dados ou eventualmente bloqueá-la, dependendo da taxa de ocorrência em um período. Os usuários e os executantes do ensaio devem olhar atentamente as fontes mais comuns de ruído: altas velocidades de enchimento de gás durante a pressurização, contato mecânico do corpo do cilindro com suportes e estruturas, interferências eletromagnéticas e de radiofrequência, vazamentos em tubulações e mangueiras conectadas ao cilindro, respingos de chuva, areia, etc. O ensaio não deve ser executado se não forem eliminadas as fontes de ruídos intensas.

5.1.7 De forma análoga ao que ocorre em qualquer ensaio de pressão em recipientes metálicos, a temperatura ambiente não deve ser menor que a temperatura de transição dútil-frágil do material de construção do cilindro.

5.2 Procedimento de ensaio

Deve ser realizado segundo o indicado em 5.2.1 a 5.2.13.

5.2.1 Inspecciona-se visualmente a superfície acessível interna e externa do corpo do cilindro, registrando as irregularidades a ser informadas no relatório do ensaio.

5.2.2 Isola-se o cilindro a ser ensaiado, a fim de evitar sinais falsos de emissão acústica por influência do contato com outros cilindros, estruturas de sustentação, etc. Quando não for possível isolá-lo completamente, deve-se indicar no relatório do ensaio, as prováveis fontes de ruído devido a contatos mecânicos.

5.2.3 Conectam-se as mangueiras de enchimento e o transdutor de pressão, tomando cuidado em eliminar toda perda de líquido ou vazamento de gás junto às conexões, durante a realização do ensaio.

5.2.4 Monta-se, no mínimo, um sensor de EA em cada extremidade do cilindro.

5.2.4.1 A montagem dos sensores deve ser realizada de acordo com o estabelecido em NBR 15242.

5.2.4.2 Montam-se os sensores das extremidades do cilindro na mesma posição angular, para que o equipamento interprete a direção paralela ao eixo longitudinal do cilindro.

5.2.5 Ajustam-se os parâmetros do processador de sinais, de acordo com o indicado na tabela 1.

5.2.6 Verifica-se o desempenho do equipamento em cada sensor (ver 4.1).



5.2.6.1 Verifica-se se o pico de amplitude é maior que o valor especificado (ver tabela 1).

5.2.6.2 Verifica-se se o equipamento apresenta uma localização correta através de uma fonte simulada, por exemplo, Hsu Nielsen (ver NM 303).

NOTA: A utilização de somente dois sensores deve fornecer a posição das áreas ativas em um eixo longitudinal. Se for desejada uma localização planar, recomenda-se a utilização de mais de 02 sensores.

5.2.7 Inicia-se a pressurização do cilindro a uma velocidade suficientemente baixa para não produzir ruídos.

5.2.7.1 Antes de iniciar a pressurização, o ruído de fundo deve ser menor que o limite de referência adotado (ver tabela 1).

5.2.8 Durante o ensaio devem ser registrados, simultaneamente, a pressão e a EA.

5.2.8.1 Diante da presença de incrementos significativos de EA, a pressurização deve ser interrompida para determinar as causas.

5.2.9 Arquivam-se todos os dados do ensaio na unidade de armazenamento permanente.

5.2.9.1 O ensaio é interrompido quando a pressão de ensaio atingir 10 % da pressão de serviço. A precisão na leitura da pressão durante o ensaio deve estar dentro de ± 2 % da pressão de ensaio.

5.2.10 Se reduz a pressão do cilindro até um nível normal de operação, retornando o excesso de gás ao reservatório ou liberando-o a atmosfera.

5.2.11 Verifica-se o desempenho do sistema em cada sensor (ver 4.1), assim como se o pico de amplitude é maior que o valor especificado (ver tabela 1).

5.2.12 Filtram-se os dados do ensaio para a eliminação dos sinais indesejáveis provenientes de fontes não associadas, como por exemplo, ruídos eletrônicos.

5.2.13 Revisam-se os dados examinando a posição das áreas ativas através de um gráfico do tipo eventos de EA em função da direção longitudinal (distância entre sensores).

6. RESULTADOS

6.1 Deve-se preparar um relatório escrito para cada ensaio contendo no mínimo, o indicado em 6.1.1 a 6.1.12.

6.1.1 Dados de identificação do cilindro, se existir.

6.1.2 Data e local do ensaio.

6.1.3 Data e o máximo valor de pressão de ensaio imediatamente anterior, em casos conhecidos.

6.1.4 Pressão de serviço.

6.1.5 Meio de pressurização.

6.1.6 Pressão no início do ensaio.

6.1.7 Máxima pressão obtida no ensaio.

6.1.8 Localização das áreas ativas, cuja referência é o extremo do cilindro no qual está estampado o número de série.



6.1.9 Empresa e declaração do responsável técnico do ensaio.

6.1.10 Esquema de instalação de cilindros interconectados definindo a posição de cada um, quando o ensaio for realizado em uma composição de cilindros múltiplos.

6.1.11 Resultado do exame visual.

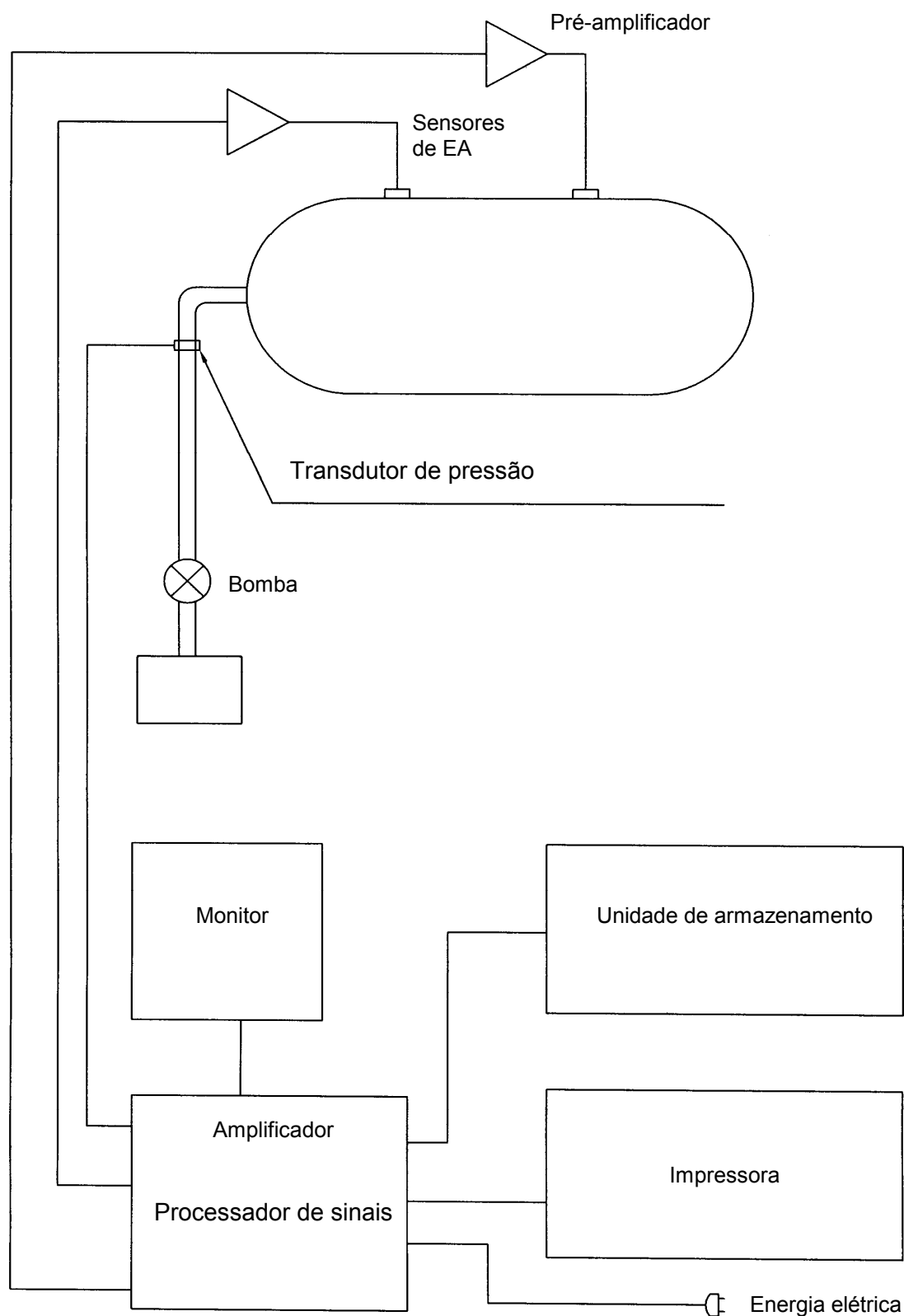
6.1.12 Resultado do ensaio de EA, incluindo, no mínimo, eventos em função da localização por cilindro ou eventos acumulados em função da pressão por cilindro.

6.1.13 Procedimento de ensaio.

6.1.14 Nome do inspetor que executou o ensaio.

6.2 A exatidão da localização das áreas ativas é influenciada por fatores que afetam a propagação de ondas no cilindro, acoplamento dos sensores e por ajustes no processador de sinais.

6.3 É possível que ocorra a detecção de EA que não sejam confirmadas por ensaios não destrutivos complementares. Recomenda-se registrar como referência, para futuras inspeções, aquelas provenientes de fontes de ruídos ou pequenas descontinuidades imperceptíveis por outras técnicas.



Esquema do equipamento do ensaio de EA



Tabela 1

Ajuste do equipamento

Sensibilidade do sensor	- 77 dBV referente a 1 V/ μ bar, a 150 kHz
Acoplante	Graxa de silicone ou equivalente, segundo 4.3
Ganho total	80 dB (x10000)
Filtro	100 kHz a 300 kHz
Comprimento Cabo sinal/energia	150 m (máximo)
Limite de referência	30 dBV
Tempo morto	1 vez o tempo equivalente ao trajeto do som entre os sensores das extremidades
Ruído de fundo	27 dBV
Verificação da sensibilidade	85 dBV



Anexo A (Normativo)

Critérios de Rejeição

A.1 Generalidades

Durante o monitoramento do cilindro até a pressão do ensaio, as áreas ativas podem ser detectadas e localizadas para uma posterior investigação por meio de ensaios não destrutivos complementares de partículas magnéticas (PM) e ultra-som (US), com o objetivo de dimensionar e caracterizar o(s) defeito(s) presente(s) (ver A.2). Uma vez caracterizadas estas áreas ativas, o responsável técnico terá duas alternativas: retirar o cilindro de operação ou investigar e comprovar que as descontinuidades não oferecem risco para a operação segura do cilindro.

A.2 Critérios para a execução do ensaio não destrutivo complementar

A.2.1 Os critérios para a execução do ensaio não destrutivo complementar, conforme itens A.2.2.1 e A.2.2.2, deverão ser aplicados desde que o equipamento de EA esteja ajustado segundo o estabelecido na tabela 1.

A.2.2 A necessidade do ensaio não destrutivo complementar se verifica por meio do resultado da localização linear das áreas ativas, depois de finalizada a obtenção dos dados.

A.2.2.1 Corpo do cilindro

No caso de cinco ou mais eventos de EA sejam localizados em um comprimento equivalente a 5 % da distância dos sensores, esta região do cilindro deve ser inspecionada por ensaios não destrutivos complementares. Deve ser dimensionado qualquer defeito detectado.

A.2.2.2 Extremos do cilindro

No caso de cinco ou mais eventos de EA serem localizados fora da linha entre sensores, e o pico de amplitude de algum sinal de chegada do primeiro sensor seja maior que 45 dBV, toda a extremidade do cilindro deve ser inspecionada por ensaios não destrutivos complementares. Deve ser dimensionado qualquer defeito detectado.

A.3 Método de cálculo do tamanho máximo do defeito aceitável

A integridade estrutural de cilindros de aço sem costura para armazenamento de gases comprimidos é avaliada por técnicas da mecânica da fratura adequada. Estas técnicas baseiam-se em conhecimento do tamanho crítico de um possível defeito sob fadiga e coeficientes de segurança. A análise do comportamento do defeito sob fadiga se justifica pelo carregamento cíclico que os cilindros recebem em vários enchimentos. Devem ser rejeitados, retirados de operação, cilindros cujo defeito ultrapasse o tamanho do defeito aceitável.