

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] KARDEC, A.; NASCIF, J. Manutenção (Função Estratégica), 1.ed, RJ, Quality Mark, 1998.
- [2] ABENDE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS, Informações disponíveis na homepage: <http://www.abende.org.br>
- [3] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, “NBR 13199 – Cilindros de Aço sem Costura – Método de Ensaio por Emissão Acústica”, Agosto 1994.
- [4] ADIEL TEIXEIRA DE ALMEIDA & FERNANDO MENEZES CAMPELO DE SOUZA, “Gestão da Manutenção na Direção da Competitividade”, Editora Universitária da UEPE, Recife, 2001.
- [5] ALLEN GREEN, ACCOUSTIC EMISSION TECHNOLOGY CORPORATION, “Acoustic Emission Application in the Petroleum and Chemical Industries”, Section 7, Sacramento, California.
- [6] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, “API Publication 581 - Base Resource Document On Risk-Based Inspection”, May 1996.
- [7] AMERICAN SOCIETY FOR NONDESTRUCTIVE TESTING, “Nondestructive Testing Handbook”, Second Edition, Volume Ten, Nondestructive Testing Overview.
- [8] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, "Acoustics Emission", ASTM Special Technical Publication STP 505, 1972.
- [9] AMERICAN SOCIETY MECHANICAL ENGINEER, “ASME SEC. V – Article 12 – Acoustic Emission Examination of Metallic Vessels During Pressure Testing”, Edition 1998.
- [10] AMERICAN SOCIETY MECHANICAL ENGINEER, “Metal Handbook – Nondestructive Testing and Quality Control”, 8th edition, 1976.
- [11] API, “Recommended Practice 579 - Fitness for Service”, First Edition, January 2000.
- [12] ASNT – AMERICAN SOCIETY FOR NONDESTRUCTIVE TESTING, “Nondestructive Testing Handbook”, Volume 5 - Acoustic Emission Testing, Edition 1987.
- [13] ASTM, “Acoustic Emission: Standard and Technology Update”, Editor: Sotirios J. Vahaviolos, 1999.

- [14] ASTM, “Standard Specification for Pressure Vessel, Carbon Steel, for Moderate-and-Lower-Temperature Service”, ASTM A 516 / A 516M, Edition 1990.
- [15] ASTM, “Standard Terminology Relating to Acoustic Emission”, ASTM SE610, Philadelphia, PA: American Society for Testing Materials, Edition 1982.
- [16] ASTM, Standard Test Methods for Tension Testing for Metallic Materials [Metric], E-8M, Edition 1996.
- [17] BRANCO FILHO, GIL. “Planejamento e Controle de Manutenção”, ABRAMAN, Edição Março/2003.
- [18] CROSS, N.O.; LOUSHIN, L.L.; and THOMPSON, J.L. “Acoustic Emission Testing of Pressure Vessels for Petroleum Refineries and Chemical Plants,” Acoustic Emission, ASTM STP 505, American Society for Testing and Materials, 1972.
- [19] ERA TECHNOLOGY, “Acoustic Emission for In-Service Crack Detection in Pressure Vessels and Pipework”, ERA Report, December 1996.
- [20] H.V. RAVINDRA, Y.G. SRINIVASA, R. KRISHNAMURTHY, “Acoustic Emission for Tool Condition Monitoring in Metal Cutting”, Elsevier Science S.A., June 1997.
- [21] A. KLEMPNOW, V.; LESCANO, D.; VIGNALE, J.; RUZZANTE, J.; HIERRO. “Análisis de Fallas em Cojinetes a Rodamientos Usando Vibraciones Mecánicas y Emisión Acústica”, I Encontro Iberoamericano de Acústica, I Simpósio de Metrologia e Normalização em Acústica e Vibrações do Mercosul, 18º Encontro da Sobrac, Florianópolis – SC, Brasil, Abril 1998
- [22] LEGISLAÇÃO DO MINISTÉRIO DO TRABALHO, “Norma Regulamentadora NR-13”, 26.04.1995.
- [23] MCINTIRE, P.; MILLER, R.K. “Acoustic Emission Testing,” Nondestructive Testing Handbook (2nd ed.), Vol. 5, 1987.
- [24] MCINTIRE, P.; MILLER, R.K. “Acoustic Emission Testing,” Nondestructive Testing Handbook (2nd ed.), Vol. 7, 1987.
- [25] MILLER R.K. “Acoustic Emission: An Application to Fracture Mechanics”, - 1979.

- [26] N.F. CARVALHO, "Inspeção e Manutenção de Vasos de Pressão", PETROBRÁS – Petróleo Brasileiro S. A, 1998.
- [27] PETROBRAS, "N-253 – Projeto de Vaso de Pressão", Fevereiro 1999.
- [28] PETROBRAS, "N-2688 - Teste de Pressão em Serviços de Vasos de Pressão e Caldeiras", Julho 2002.
- [29] PHYSICAL ACOUSTICS CORPORATION - A Mistras Holdings Company. Informações disponíveis na homepage: <http://www.pacndt.com>.
- [30] PHYSICAL ACOUSTICS CORPORATION, “Mistras 2001 User’s Manual”, Rev. 1. Copy right (C), Princeton, New Jersey, USA, 1992.
- [31] PHYSICAL ACOUSTICS SOUTH AMERICAN - A Mistras Holdings Company. Informações disponíveis na homepage: <http://www.pasa.com.br>
- [32] S.D. SOARES. "Emissão Acústica", ABENDE – Associação Brasileira de Ensaaios não Destrutivos, 2000.
- [33] S.D. SOARES; E G. V. DONATO. "1979 a 2002 23 anos de Emissão Acústica na Petrobrás, Desenvolvimento, Pesquisas e Resultados - 6º COTEQ", 2002.
- [34] SANTIN, J.L. “Ultra – Som – Técnicas e Aplicação”, Qualitymark – Ed. 1996.

ANEXO 1 – Terminologia Padrão Utilizada em Emissão Acústica (EA)

- **Acoplante:** Substância utilizada na interface estrutura sensor para melhorar a transmissão da energia de emissão acústica [15, 32].
- **Amplitude de Sinal de Emissão Acústica:** Valor máximo de voltagem obtido pelo sinal de emissão acústica, medido em decibéis [15, 32].
- **Área Ativa:** são áreas que apresentam concentração de tensões para análise de defeitos críticos, isto é, que se alteram devido às solicitações mecânicas ou térmicas [32].
- **Área Examinada:** é a região particular ou total de uma estrutura ou objeto de ensaio que é monitorada por emissão acústica [15, 32].
- **Atenuação:** perda de amplitude com distância que as ondas propagam através da estrutura em teste [32]. Perda de energia por unidade de distância [15].
- **Ativação de Emissão Acústica:** a investida de emissão acústica devido à aplicação de estímulo como força, pressão, etc [32].
- **Atividade de Emissão Acústica:** a medida da quantidade de emissão, usualmente a contagem cumulativa de energia, contagem de evento, contagem de alarme, ou taxas de alteração destas quantidades [32].
- **Assinatura de Emissão Acústica:** conjunto de atributos reprodutíveis de sinais de emissão acústica associada a um objeto ou processo específico, observado por um sistema de instrumentação sob condições específicas [15, 32].
- **Avaliação:** determinação da significância das indicações relevantes. Determina que o objeto avaliado deve ser rejeitado, reparado ou aceito [7].
- **Capacidade de Processamento:** é o número de sinais que podem ser processados na velocidade de processamento antes do sistema interromper a aquisição de dados para limpar os “*buffers*” ou para outros dispositivos aceitar dados adicionais [2, 15].
- **Canal de Emissão Acústica:** é uma montagem em linha, contendo um sensor, pré-amplificador, filtros, amplificadores, outra instrumentação necessária, cabos de conexão e detectores ou processadores de sinais [15].

- **Características de Sinal:** características mensuráveis do sinal de emissão acústica, como amplitude, energia de emissão acústica, duração, contagem, tempo de subida, que pode ser armazenado como parte da descrição do *hit* de emissão acústica [32].
- **Contagem de Emissão Acústica (N):** o número de vezes que o sinal de emissão ultrapassa o limite de referência durante o ensaio. É a medida do carregamento do evento de emissão acústica, o qual tem ocorrido num dado período de tempo. O método de medição e procedimento de carregamento deve ser descritos [7, 8, 15].
- **Decibéis (dB):** unidade para expressar os valores de amplitudes do sinal de emissão acústica [7, 9].
- **Defeitos:** é qualquer descontinuidade que excede os limites estabelecidos pelo código de projeto do equipamento, e detectável em ensaio previsto por este mesmo código [7].
- **Descontinuidade:** uma falta de continuidade ou coesão, uma interrupção na estrutura física normal do material ou produto [32].
- **Descrição do Evento:** as descrições digitais (numérica) de um evento, compreendendo uma ou mais descrições e ou informações extraídas deles ou calculadas deles [32].
- **Descrição de Sinal:** o resultado do processo de detecção: uma descrição digital (numérica) de um evento de emissão acústica [32].
- **Detecção de Emissão Acústica:** reconhecimento da presença do sinal (tipicamente acompanhado por um limiar de detecção de sinal) [32].
- **Distribuição Acumulada Amplitude – F(A):** número de eventos de emissão acústica, com sinais que excedem uma amplitude arbitrária da amplitude “A” [15].
- **Distribuição Acumulativa de Contagem – FT(A):** o número de vezes que o sinal de emissão acústica excede um limite de referência durante o período de monitoração [15, 32].
- **Distribuição de Amplitude:** uma mostra do número de sinais de emissão acústica em (ou maior que) uma particular amplitude, plotada como função da amplitude. Nota: funções de distribuição para outras características como

contagens, energia de emissão de acústica, duração, tempo de subida são similarmente definidos [32].

- **Distribuição Logarítmica de Amplitudes G (A):** é o número de sinais de emissão acústica com amplitude entre “A” e “aA” (onde a é um multiplicador constante) como função de amplitude. Isto é, uma variação da distribuição diferencial de amplitudes em escala logarítmica [15, 32].
- **EA:** abreviatura para o ensaio não destrutivo por emissão acústica [7], utilizada nesta dissertação.
- **Efeito Felicity (o inverso do efeito Kaiser):** a presença de emissão acústica em níveis de tensão abaixo do máximo previamente experimentado [15, 32].
- **Efeito Kaiser:** a ausência de emissão acústica detectável em nível fixo de sensibilidade, até o nível de tensão aplicado previamente a ser excedido [15, 32].
- **Emissão Acústica (EA):** é o fenômeno onde ondas elásticas transientes são geradas por rápida liberação de energia a partir de fontes localizadas em um material ensaiado. Emissão acústica é o termo de referência geral. Outros termos também são utilizados: emissão de ondas de tensão, atividade micro sísmica ou emissão acústica com outros qualitativos [8, 15, 32].
- **Emissão Contínua:** uma descrição qualitativa da manutenção de um nível de emissão acústica produzido por rápida ocorrência de sinais emitidos [15, 32].
- **Emissão de Fratura:** uma descrição qualitativa de um sinal discreto relacionado a um evento de emissão individual ocorrendo dentro do material [32].
- **END:** abreviação de ensaios não destrutivos [7], usada nesta dissertação.
- **Energia de EA (intensidade do sinal):** a intensidade do valor absoluto do sinal de emissão acústica detectado. [32].
- **Energia de Evento de Emissão Acústica:** o total de energia elástica liberada por um evento de emissão acústica [15, 32].
- **Ensaio de Emissão Acústica:** é a técnica de ensaios não destrutivos que aplica conceitos de emissão acústica [15, 32].
- **Ensaio Não Destrutivo (END):** são ensaios aplicados em equipamentos e matérias em bruto, semi-acabados ou acabados, para avaliação de integridade, objetivando detectar, localizar, medir e avaliar as discontinuidades

superficiais (externas) e internas para assegurar as propriedades e compromisso do equipamento ou material ao uso, sem alterar suas características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais e sem interferir em seu uso posterior [2, 7, 32].

- **Entradas Paramétricas:** variáveis ambientais (por exemplo: carga, pressão, temperatura) que são medidas e armazenadas como parte da descrição do *hit* de emissão acústica [32].
- **Evento:** Pequenos deslocamentos que crescem a ondas elásticas transientes. Ver evento de emissão de acústica [7].
- **Evento Crítico:** é o ponto no qual o sinal de propagação de uma trinca ou dano irá levar rapidamente e instantaneamente o componente ou o material à fratura [32].
- **Evento de Emissão Acústica:** uma ocorrência no tempo e a uma dada localização exata, associado a uma redistribuição de tensões no material. Pequeno deslocamento micro estrutural produzido por ondas elásticas no material sobre determinado carregamento ou tensão [7, 15].
- **Faixa Dinâmica:** é a diferença em decibéis, entre o nível máximo e o mínimo do sinal, usualmente fixado por um ou mais níveis de ruído, distorção de baixo nível, interferência ou resolução em um sistema sensor [2, 15].
- **Fim do Sinal de Emissão Acústica:** é o término conhecido de um sinal, usualmente definido como a última vez que o sinal corta o limite de referência [2, 15].
- **Fonte:** local onde os eventos de emissão acústica são retirados. Local no material onde nasce a mudança dos sinais de emissão acústica [7, 23, 30].
- **Fonte de Emissão Acústica:** a origem física de um ou mais eventos de emissão acústica [7, 32].
- **Fonte do Lápis (quebra do grafite):** é a fonte gerada pela quebra de um grafite frágil adaptado a uma guia adequada para a simulação de um evento de emissão acústica [7, 23].
- **Fratura:** a quebra, ruptura ou uma trinca grande suficiente para causar a separação total ou parcial de um material [7].
- **Guia de Onda de Emissão Acústica:** um dispositivo de condução da energia elástica emitida por uma estrutura, ou objeto de ensaio, para um sensor

remoto durante a monitoração de emissões acústicas. Um exemplo de guia de onda de emissão acústica pode ser um arame ou barra cilíndrica sólida acoplada acusticamente a um objeto de ensaio e a um sensor de emissão acústica na outra extremidade [15, 32].

- **HDT (Hit Definition Time):** tempo de definição do hit. É o tempo constante de “retrigger” em uma coleta do circuito que determina o fim do hit [15, 30, 32].
- **Hit de Emissão Acústica:** o processo de detecção e medição do sinal de emissão acústica em um canal. São alguns sinais de emissão acústica que excedem ao limite de referência e causam aos canais do sistema dados acumulativos [30, 32].
- **HLT (Hit Lockout Time):** tempo de trava do hit. É um tempo de trava , iniciando no fim do hit, durante o qual o sistema não responde ao corte do limite de voltagem [15, 30, 32].
- **Indicação:** resposta ou evidência da aplicação dos ensaios não destrutivos [7, 32].
- **Início do Sinal de Emissão Acústica:** é o início do sinal de emissão acústica, reconhecido pelo processador do sistema, usualmente definido pela amplitude que excede o limite de referência [2, 15].
- **Intensidade de Emissão Acústica:** a medida da dimensão dos sinais de emissão acústica detectados, tais como média de amplitude, média de energia de emissão acústica ou média de contagens [32].
- **Interpretação:** determinação se uma indicação é relevante, irrelevante ou falsa. Avaliação da causa da indicação ou avaliação da significância da descontinuidade sob o ponto de vista se a mesma é prejudicial ou não [7, 32].
- **Intervalo de Tempo de Chegada:** é o intervalo de tempo entre as detecções de chegada dos sinais de emissões acústicas nos sensores de um arranjo [15, 32].
- **Limite de Referência de Avaliação:** é o limite de referência utilizado para análise dos dados, que podem ter sido gravados com um limite de referência do sistema menor do que o limite de referência de avaliação. Para propósitos de análise, a referência dos dados registrados com limite de referência do sistema eletrônico deve ser levada em consideração [15, 32].

- **Limite de Voltagem:** ver definição de threshold.
- **Limite Flutuante:** é qualquer limite com amplitude estabilizada por uma medida média no tempo do sinal de entrada [2, 15].
- **Localização de fonte:** origem dos sinais de emissão acústica registrados no computador [7, 23].
- **MARSE (measured area under the rectified signal envelope):** energia relativa (E) [30].
- **Modalidade de Ensaios Não Destrutivos:** técnica de ensaio não destrutivo aplicado ao material ou equipamento [7, 32].
- **Nível de Sobrecarga de Sinal:** é o nível acima do qual a operação deixa de ser satisfatório como resultado da distorção do sinal, superaquecimento ou dano [2, 15].
- **NR-13:** norma regulamentadora do Ministério do Trabalho que estabelece regras compulsórias a serem seguidas no projeto, operação, inspeção e manutenção de caldeiras e vasos de pressão instalados em unidades industriais e outros estabelecimentos públicos do Brasil, como definido no corpo da norma [28].
- **PDT (Peak Definition Time):** tempo de definição de pico. É o tempo constante de um “retrigger” em uma coleta do circuito que determina o tempo de subida [15, 30, 32].
- **Ponto de Sobrecarga de Sinal:** é a máxima amplitude de sinal de entrada no qual a relação da saída para a entrada é observada para permanecer dentro de uma faixa de operação linear prescrita [2, 15].
- **Procedimento:** uma seqüência ordenada de ações que descrevem com uma modalidade e técnica de ensaios não destrutivos deve aplicada [32].
- **Pulso:** sinal de emissão acústica que tem um rápido aumento da amplitude para o seu máximo valor, seguido por um retorno imediato. Um exemplo de um sinal associado a ondas, de um modo particular, a qual tem propagado de uma fonte até um transdutor como detectado usando uma resposta plana do transdutor [7, 23].
- **Pulso de Emissão Acústica:** a descrição qualitativa de emissão acústica relacionada a um sinal individual emitido por um material [15, 32].

- **Resolução:** capacidade da modalidade ou técnica de ensaios não destrutivos em mostrar uma indicação [7].
- **Ruído:** indicações irrelevantes, sinais produzidos por outras causas que não sejam emissão acústica, ou fontes de emissão acústica que não sejam relevantes para o propósito do teste. Sinais indesejados que tendem a interferir na recepção ou no processo do sinal desejado. A origem, pode ser elétrica ou acústica, pequenas descontinuidades ou mudanças bruscas das propriedades do material em teste [7, 32].
- **Sensor de Emissão Acústica:** um dispositivo de detecção geralmente, um cristal piezoeletrico, que transforma energia mecânica (movimento de partículas produzido por ondas elásticas) em energia elétrica [7, 15, 23].
- **Sensibilidade:** é a medida do nível de resposta de uma descontinuidade por ensaios não destrutivos [32].
- **Sinal de Emissão Acústica:** sinal elétrico obtido por fontes de emissão acústica, ou seja, é o sinal oriundo do elemento transdutor e passado através de subseqüentes equipamentos condicionadores de sinal (amplificadores e filtros de frequência), [15, 32].
- **Solicitação:** aplicação de um estímulo, tal como pressão, força, calor, etc. em um objeto de teste para causar ativação de fontes de emissão acústica [15, 32].
- **Taxa de Contagem de Emissão Acústica:** é o quociente entre o número de contagens e o intervalo de tempo de monitoração [15, 32].
- **Taxa de Evento:** é o quociente entre o número de eventos localizados e o intervalo de tempo de monitoração [15, 32].
- **Técnica de Ensaios Não destrutivos:** modo específico de utilizar uma modalidade de ensaios não destrutivos [32].
- **Tempo de Calibração:** é o tempo necessário para uma onda de emissão acústica atravessar a distância entre quaisquer 02 sensores do grupo [30].
- **Tempo de Definição do Evento:** é o tempo requerido por um evento para deslocar-se por um número suficiente de sensores, localizados no grupo, com o objetivo de determinar matematicamente a localização [30].

- **Tempo Morto:** é qualquer intervalo durante a aquisição quando a instrumentação ou sistema estiver incapaz para aceitar novos dados por qualquer razão [2, 15].
- **Tempo de Prevenção de Entrada de um Evento:** tempo mínimo antes que o programa resume o processamento de um evento de um grupo. Este tempo deve ser, no mínimo, o tempo necessário para a propagação do evento de emissão acústica, de um sensor para o último ou o sensor mais distante de um dado grupo. Algumas vezes um evento vai se propagar através de uma estrutura gerando reflexos que vão continuar gerando hits além do maior tempo de propagação (do mais próximo ao mais distante sensor). Alternativamente, algumas vezes, em virtude da atenuação estrutural, uma onda de emissão acústica não será capaz de propagar-se para muitos sensores adiante. Isso poderá ser levado em conta quando for acionado o tempo de impedimento de entrada da onda para evitar que muitos eventos de uma fonte ou o encerramento de um evento processem tanto tempo que previnam novos, e/ou reais eventos de serem processados [30].
- **Tempo de Recobrimento de Sobrecarga:** é um intervalo de operação não linear de um instrumento causado por um sinal com amplitude excedendo a faixa de operação linear do instrumento [2, 15].
- **Teste de Pressão:** teste por meio de fluido compressível ou incompressível ou uma mistura de ambos, até um dado valor de pressão, com a finalidade de aliviar as tensões residuais, avaliar a integridade e a resistência estrutural dos componentes sujeitas à pressão, dentro das condições estabelecidas para a sua realização [28].
- **Tempo de Subida do Sinal de Emissão Acústica:** é o tempo entre o sinal de emissão acústica inicial e o pico de amplitude deste sinal [2, 15].
- **Threshold:** é o limite de referência do sistema eletrônico os quais os sinais são serão detectados. O nível de voltagem apresentado tem que ser excedido antes que seja detectado e processado o sinal de emissão acústica. Este limite de referência pode ser ajustado, fixo ou flutuante [7, 23, 32]. Ver limite de referência de avaliação.
- **Transdutor de Emissão Acústica:** Ver sensor de emissão acústica.

- **Velocidade de Processamento:** é a taxa mantida (sinais/segundo), como uma função do parâmetro ajustado e o número de canais ativos, os quais os sinais de emissão acústica podem ser continuamente processados por um sistema sem interrupção para transferência de dados [2, 15].
- **Velocidade de Propagação da Onda:** é a velocidade (polegadas/seg, cm/seg, etc) em que uma onda de emissão acústica se propaga de um sensor a outro. Algumas vezes a velocidade pode ser determinada diretamente de uma tabela de velocidades do material que está sendo testado. Entretanto, em virtude do diferente modo de velocidade da onda e da geometria da estrutura, o melhor modo para se determinar a velocidade pode ser empiricamente pela determinação do tempo necessário para a onda chegar de um sensor a outro [30].
- **Zona (primária):** área vizinha ao sensor, da qual a emissão acústica pode ser detectada e da qual emissão acústica irá tocar o sensor antes de tocar outros sensores [32].

ANEXO 2 – Certificado de Calibração do Sensor R80 - SN 494



PHYSICAL
ACOUSTICS
CORPORATION

CALIBRATION CERTIFICATE

"Sound Technology for Productivity and Safety"



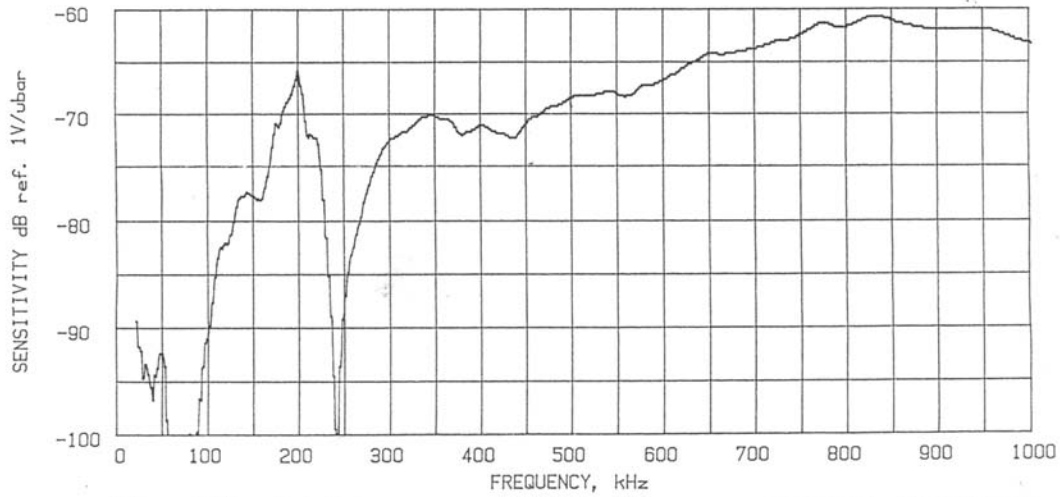
DUNEGAN
CORPORATION

MODEL NUMBER: R80

DATE: 01/13/99

SERIAL NUMBER: 494

TESTED BY: E. G.



PAC certifies that this sensor meets all performance, environmental, and physical standards established in applicable PAC specifications. Calibration methodology based on ASTM standard E976- "Standard Guide for Determining the Reproducibility of Acoustic Emission Sensor Response".

CC-1

ANEXO 3 – Certificado de Calibração do Sensor R80 - SN 495



CALIBRATION CERTIFICATE



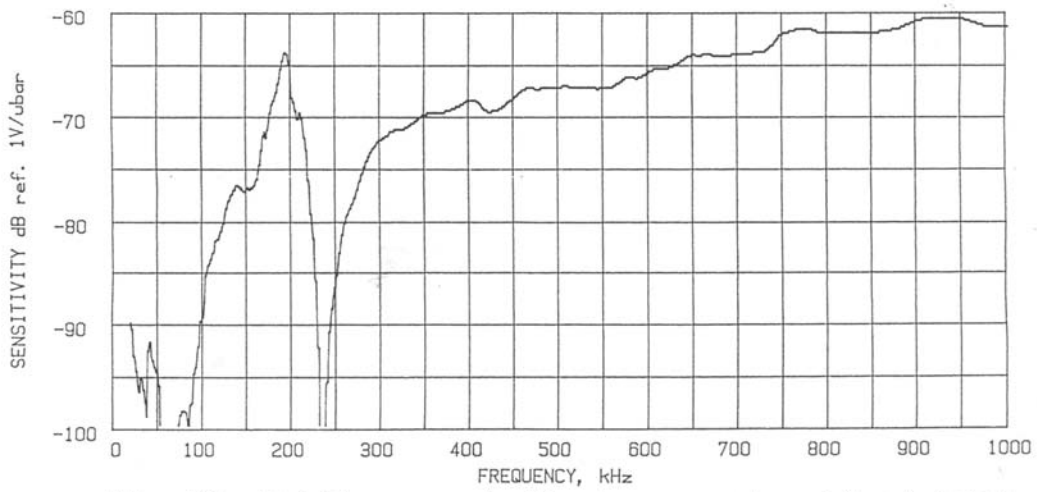
"Sound Technology for Productivity and Safety"

MODEL NUMBER: R80

DATE: 01/13/99

SERIAL NUMBER: 495

TESTED BY: E. G.



PAC certifies that this sensor meets all performance, environmental, and physical standards established in applicable PAC specifications. Calibration methodology based on ASTM standard E976- "Standard Guide for Determining the Reproducibility of Acoustic Emission Sensor Response".

CC-1