

não destoam do que é apresentado nas Figs. 4.69a e 4.69b, que contêm a primeira e a vigésima aquisições (5.000 e 1000.000 ciclos). Entretanto, a partir da aquisição 21 (105.000 ciclos), o valor RMS da EA aumentou de modo brusco e significativo em relação ao das 20 primeiras aquisições. As aquisições 21 e 50 (105.000 e 250.000 ciclos), apresentadas nas Figs. 4.69c e 4.69d, representam os novos tipos de sinais adquiridos. Os sinais RMS das demais aquisições de EA foram apresentados no Apêndice D, Figs. 8.38 e 8.39.

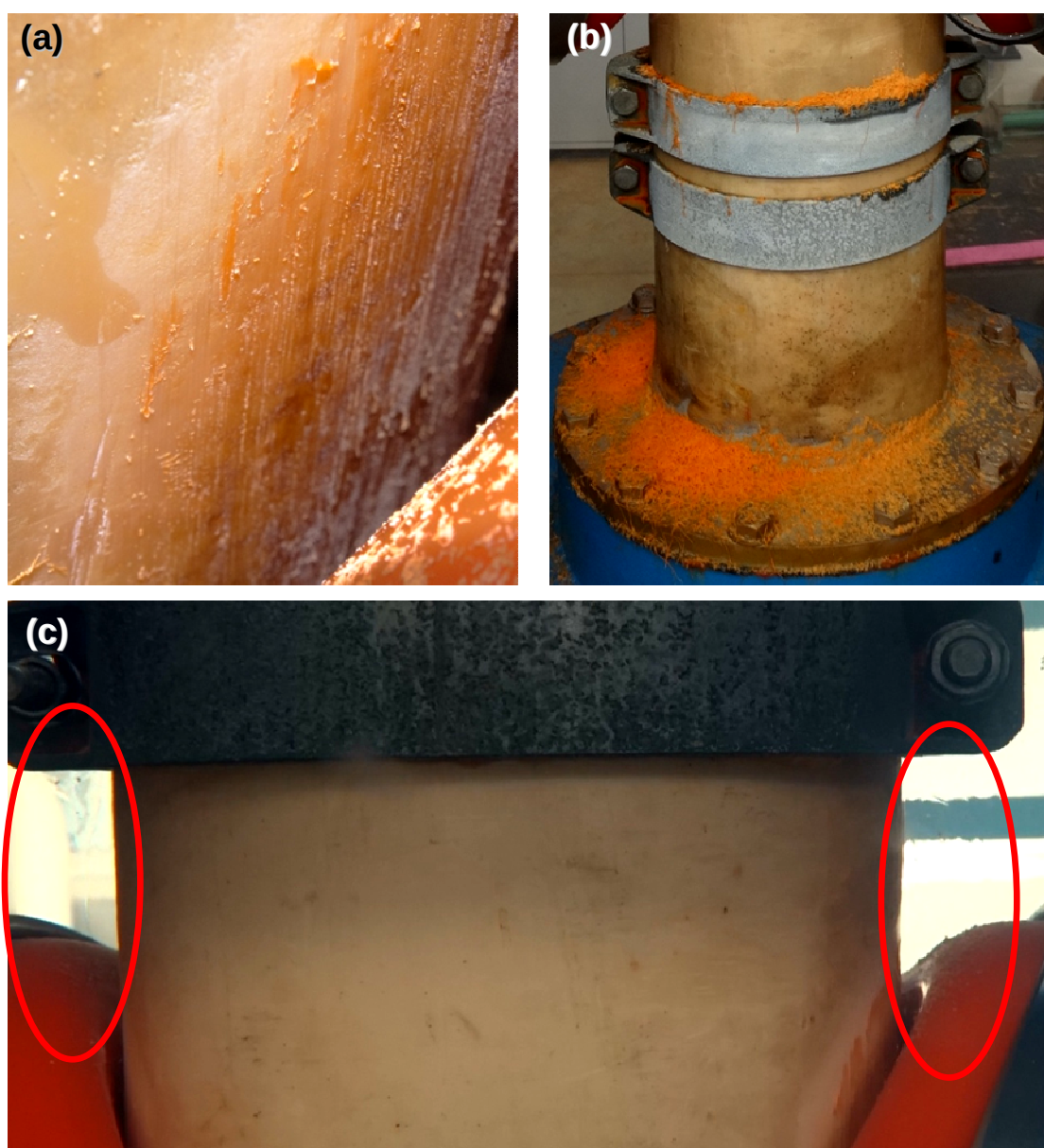


Figura 4.68 - Registro do ensaio em escala real após 250.000 ciclos (15 km) do duto flexível (a), dos fragmentos de desgaste (b) e imediatamente após a parada, indicando a região onde foram surgiram linhas de convecção na água (c)

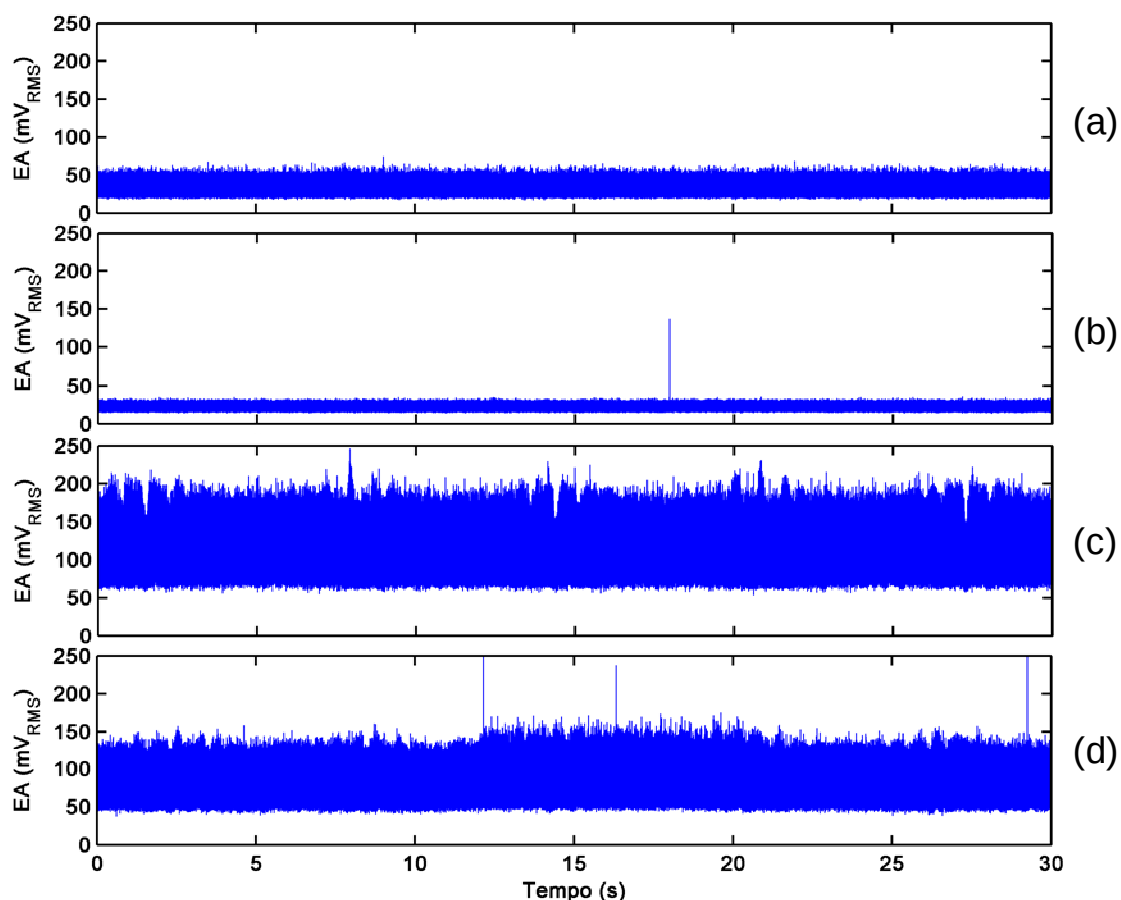


Figura 4.69 - Valores RMS da EA Ensaio em Escala Real, relativos à Aquisição 01, com 5.000 ciclos (a), à Aquisição 20, com 100.000 ciclos (b), à Aquisição 21, com 105.000 ciclos (c) e à Aquisição 50, com 250.000 ciclos (d)

Uma possível explicação para este aumento abrupto na amplitude do valor RMS da EA da aquisição 20 para a 21 é que ele está atrelado ao surgimento de fadiga de contato no tribossistema. Entretanto, na segunda parada para manutenção e registro do ensaio, que ocorreu logo após a aquisição 20, o sensor precisou ser retirado e recolocado na sua posição de medição. Além disso, mesmo que a fadiga tenha surgido no tribossistema, ela começou progressivamente, e não repentinamente, como está indicado, e levaria ao surgimento de *bursts* característicos, o que não ocorreu. Portanto, tem-se indícios de que a diferença no aperto do sensor dentro do porta-sensor foi a única causa desta mudança brusca de amplitude.

Uma observação a se fazer sobre a Fig. 4.69 é a presença de poucos *bursts* de EA. Neste ensaio, as aquisições apresentaram uma quantidade muito baixa de *bursts*, menos ainda que no ensaio em escala reduzida, e com amplitudes relativamente pequenas quando comparadas com a amplitude na região contínua do sinal de EA.

Porém, ainda não se sabe nada sobre a natureza desses *bursts*, o que demandou uma análise no domínio da frequência. Uma vez que cada aquisição apresentou amplitudes de EA diferentes, não foi possível estabelecer um critério único para definir os *bursts* como foi feito nos ensaios de esclerometria, abrasivos e de escala reduzida. Por isso, alguns *bursts* escolhidos como representantes dos demais tiveram seus PSD apresentados para que se pudesse determinar sua frequência de pico de modo individual. O primeiro *burst* que pareceu relevante nas aquisições foi o presente na Aquisição 20 (100.000 ciclos, ver Fig. 4.69b) e que foi ampliado e apresentado na Fig. 4.70.

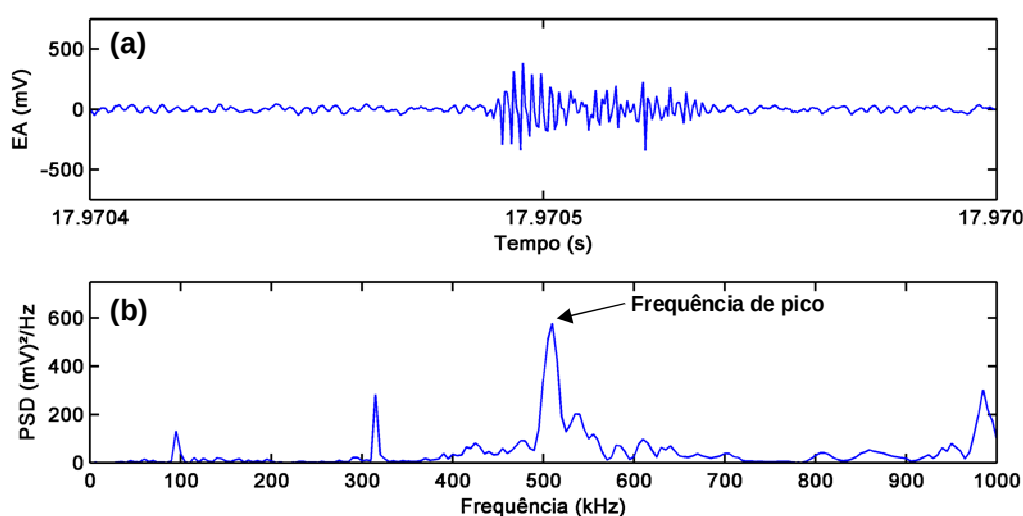


Figura 4.70 - *Burst* de EA presente na Aquisição 20 (ver Fig. 4.69b), nos domínios do tempo (a) e da frequência (b)

A FFT foi calculada tendo como base os parâmetros da Tab. 2.1. Foi utilizado um trecho de sinal de 400 pontos, equivalente a uma duração de 0,2 ms. Como a taxa de amostragem foi de 2 MHz, a resolução em frequência do PSD foi de 5 kHz.

Pode-se observar na Fig. 4.70 que a frequência de pico ocorre em aproximadamente 510 kHz, havendo alguns picos menores em aproximadamente 95 kHz, 315 kHz e 985 kHz. Entretanto, uma análise do sinal em um trecho imediatamente anterior ao *burst* analisado, apresentada na Fig. 4.71, mostra que os picos em 95 kHz e em 315 kHz estão presentes mesmo quando não há *burst* algum. Isto indica que os picos em 95 kHz e em 315 kHz são, na verdade, devidos ao ruído de fundo, e que o *burst* é caracterizado apenas pelos picos em 510 kHz e em 985 kHz.

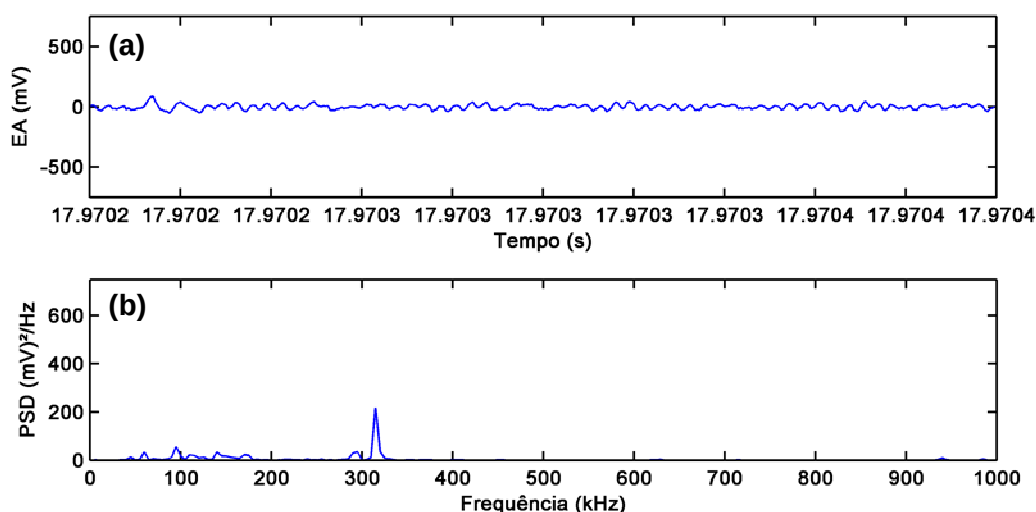


Figura 4.71 - Trecho de EA presente na Aquisição 20 em instante imediatamente anterior ao burst da Fig. 4.70, nos domínios do tempo (a) e da frequência (b)

Em seguida, foram analisados um *burst* presente na aquisição 25 (125.000 ciclos) e outro na aquisição 45 (225.000 ciclos). Ambas as aquisições tiveram o valor RMS de sua EA apresentado no Apêndice D, nas Figs. 8.38 e 8.39. Já seus *bursts* estão apresentados nas Figs. 4.72 e 4.73. Mais uma vez, os picos em baixa frequência (até 500 kHz) são devidos ao ruído de fundo presente na parte contínua do sinal. As frequências de pico dos *bursts* são de 975 kHz na aquisição 25 e de 985 kHz na aquisição 45. Tais frequências de pico acima de 900 kHz foram encontradas em todos os *bursts* analisados neste ensaio. Como as frequências de pico do *burst* da aquisição 20 foram de 510 kHz e de 985 kHz, nota-se que as frequências tenderam a valores bem acima daqueles encontrados nos ensaios de esclerometria, abrasivos e de escala reduzida (até então havia sido encontrada uma frequência de pico de no máximo 225 kHz).

Estas frequências acima de 500 kHz podem se dever a duas possibilidades. Pode-se pensar que o desgaste no ensaio em escala real realmente tenha gerado ondas acústicas nestas frequências maiores que 500 kHz. Entretanto, nem a literatura (HASE *et al.*, 2012) nem os próprios ensaios apresentados nas seções 4.1 a 4.3 deste trabalho corroboram esta possibilidade. Como pode ser observado na Fig. 2.6, mecanismos de desgaste que geram *bursts* com apenas um pico de frequência próximo a 1 MHz é típico de desgaste adesivo severo, sendo que microcorte e trincamento apresentam múltiplos picos de frequência em uma ampla faixa abaixo de 1 MHz (HASE *et al.*, 2012).

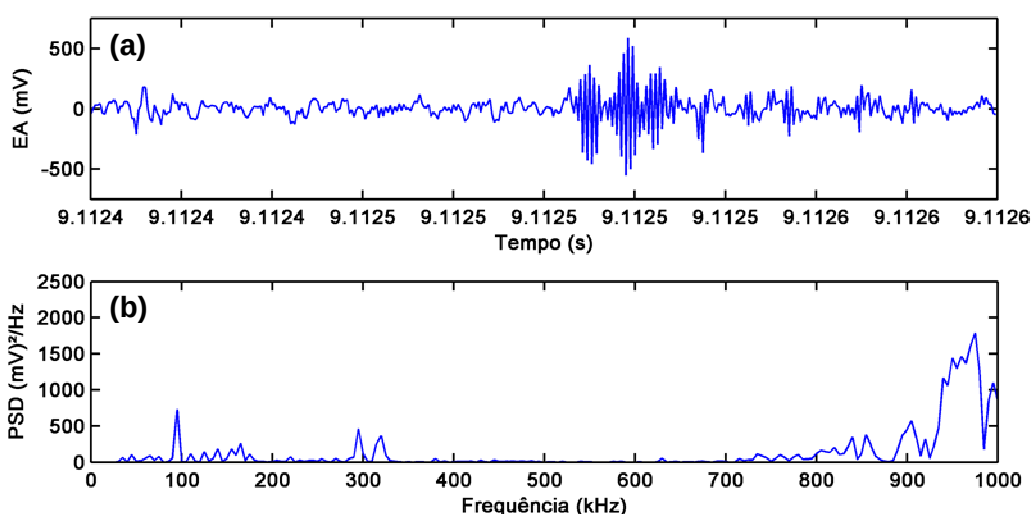


Figura 4.72 - *Burst* de EA presente na Aquisição 25 (ver Fig. 8.38), nos domínios do tempo (a) e da frequência (b)

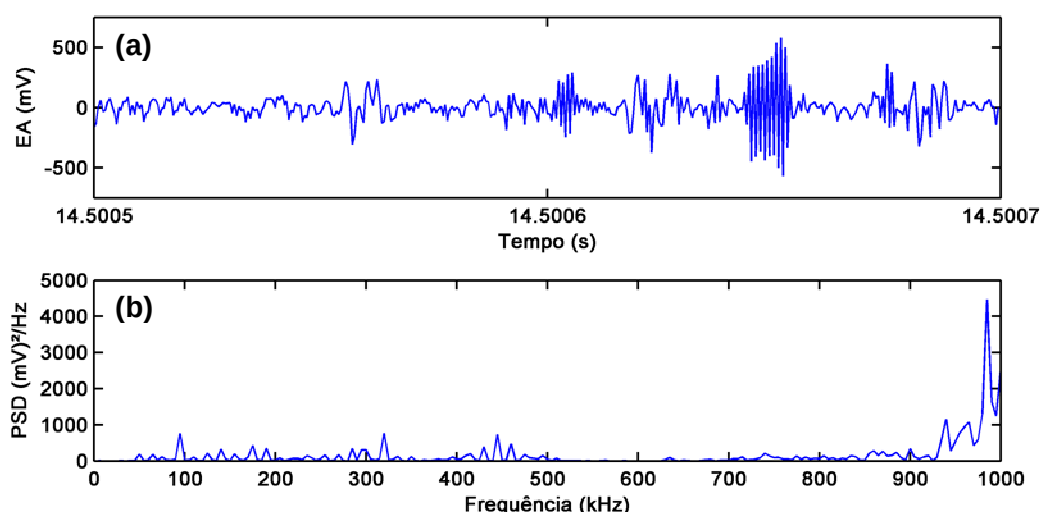


Figura 4.73 - *Burst* de EA presente na Aquisição 45 (ver Fig. 8.39), nos domínios do tempo (a) e da frequência (b)

Uma outra explicação possível é que estes *bursts* sejam relativos a ruídos no sistema, oriundos do atrito interno dos componentes que compõem o tribômetro. A literatura aponta que frequências elevadas como as encontradas são típicas de desgaste adesivo severo, independentemente do material (HASE *et al.*, 2012). Contudo, tal evento não se fez presente durante o ensaio, o que leva a crer que os *bursts* encontrados não passem de ruídos esporádicos presentes no sistema. A razão de *bursts* como esses só terem sido encontrados neste ensaio dentre todos os realizados é que o tribômetro é um equipamento consideravelmente mais complexo e sujeito a uma variedade bem maior fonte de ruídos.

Por fim, deve-se levar em consideração que estes valores de frequência próximos a 1 MHz também estão bem acima da faixa de operação em frequência do sensor, que é de 100 a 800 kHz. Seria necessário o uso de um transdutor capaz de medir frequências tão altas para que se possa fazer uma análise mais confiável do que se tratam.

Com o intuito de se obter uma visão mais clara do que exatamente o sensor de EA mediu durante as aquisições, foi calculada a STFT de algumas aquisições representativas das demais. Deste modo, cada aquisição foi subdividida em intervalos de 2^{15} pontos. Em seguida, a FFT de cada intervalo foi calculada e o resultado foi plotado de maneira sequencial no tempo. O gráfico resultante foi construído de modo a apenas apontar os picos no espectro, não fazendo distinção entre suas amplitudes. Neste gráfico, espera-se que ruídos se apresentem como componentes de frequência que nunca desaparecem ou que se apresentam de maneira intermitente e sem nenhuma relação com a movimentação executado durante o ensaio.

As aquisições 20 e 45 (100.000 e 225.000 ciclos) foram escolhidas por já terem sido empregadas nas análises da frequência de pico e possibilitar comparações, e suas STFT estão na Fig. 4.74. Observa-se a presença de inúmeras componentes de frequência, sendo algumas contínuas e outras intermitentes, mas seguindo padrões bem definidos. Nenhum desses padrões corresponde a desgaste, pois ele não ocorre de maneira organizada e previsível neste ensaio. As componentes próximas a 100 kHz e a 300 kHz presentes nas análises dos *bursts* estão presentes na STFT de maneira contínua, o que leva a crer que nenhuma delas corresponda a desgaste. A componente em aproximadamente 950 kHz, que poderia ser desgaste, na verdade não passa de ruído também, uma vez que se apresenta de maneira contínua. Por fim, alguns picos de frequência surgem a partir dos 6s e dos 23 s, mas são de baixa amplitude e nada indica que se tratem de algum evento de desgaste. Portanto, a análise das STFT leva a crer que os *bursts* são relativos a aumentos instantâneos de ruídos, e não a desgaste abrasivo ou à fadiga.

Descobrir porque as aquisições de EA não mediram o desgaste durante o ensaio realizado é um ponto crítico. Vários são os fatores que podem explicar isso. Em primeiro lugar, consideram-se as discussões realizadas na seção 2.1.2, p. 9, sobre distância entre sensor e ensaio e sobre temperatura de contato. Ni e Iwamoto (2002) já haviam discutido que a distância entre o evento cuja emissão acústica se deseja medir e o sensor é proporcional à atenuação.

Também se observar na seção de procedimentos experimentais como neste ensaio realmente se trabalhou com uma distância entre o sensor e a superfície de contato muito maior do que nos ensaios em pequena escala. Além disso, a própria posição na qual o sensor foi fixado pode ter sido desfavorável à medição dos eventos de desgaste que ocorreram, pois ele está acima de onde ocorre o desgaste.

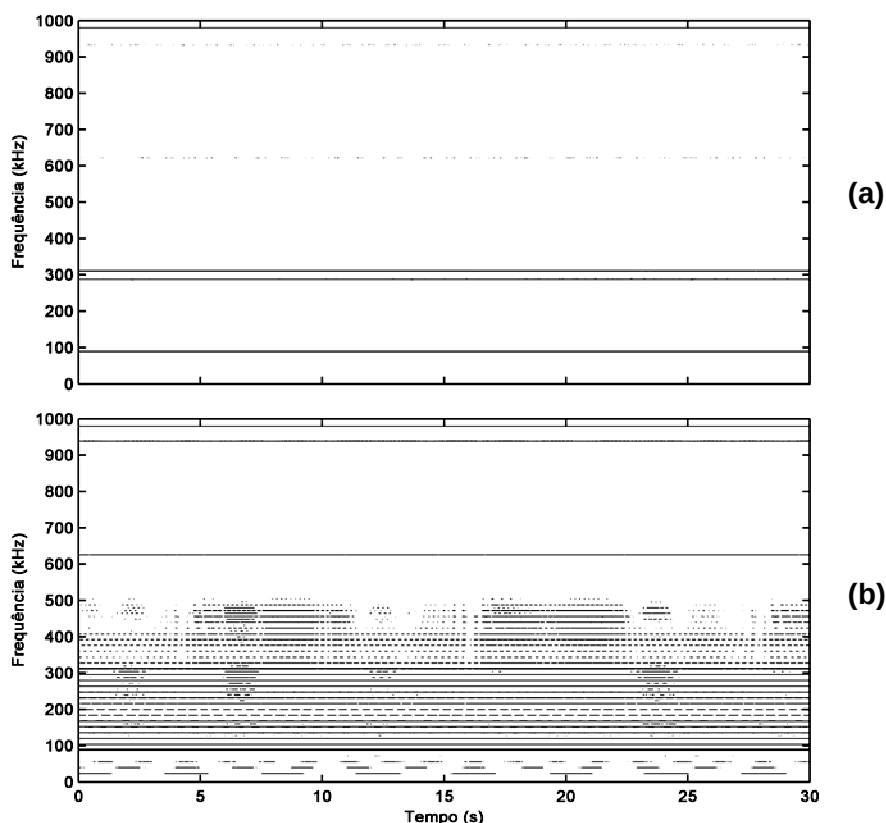


Figura 4.74 - STFT da EA do Ensaio em Escala Real, aquisições 20 (a) e 45 (b); sinais no tempo apresentados nas Figs. 4.75b e 8.39

Em segundo lugar, o amortecimento neste sistema é relativamente grande. Como discutido na seção 3.3.2 (p. 48), especialmente na Fig. 3.15, p. 51, o PU amortece as vibrações acústicas. Nos ensaios anteriores, isto não era um problema devido às curtas distâncias envolvidas. Além disso, Baranov *et al.* (2007) já haviam observado que as altas temperaturas obtidas durante o ensaio (e que formaram inclusive as correntes de convecção na água, evidenciadas na Fig. 4.68c) também levam à atenuação da EA. Por fim, é possível que os próprios eventos tenham ocorrido de maneira muito lenta e espaçada entre si. Isto ocorre porque fazer uma amostra de TPU deslizar contra papel abrasivo tem uma maior probabilidade de gerar mais desgaste e, conseqüentemente, mais picos de EA, do que fazê-la deslizar contra uma amostra de duto flexível composta de PA.

4.4.3. Monitoramento do *liner* via EA

A seguir, são apresentadas as principais conclusões retiradas dos ensaios em deslizamento, tanto em escala real quanto reduzida:

1. O ensaio em escala real demonstrou a existência de abrasão e fadiga no *liner*, ambos ocorrendo a uma temperatura relativamente elevada;
2. Análises da frequência de pico e da STFT indicaram que o sistema de medição de EA não foi capaz de detectar o desgaste do *liner* no ensaio em escala real. Três fatores podem ter contribuído para isso: distância e posição do sensor, elevado amortecimento e taxa de desgaste relativamente baixa. Talvez nenhum desses três fatores isolados seja capaz de impedir que se meça o desgaste no tribômetro através da EA, mas a combinação dos três pode sim impedir a medição;
3. Os ensaios de deslizamento em escala reduzida da seção 4.3 não reproduziram bem os mecanismos encontrados no ensaio em escala real. Apesar da abrasão estar presente nos testes em escala reduzida, a temperatura não se elevou de maneira considerável como no ensaio em escala real e não houve indícios de fadiga;
4. Os resultados da EA nos ensaios em escala reduzida foram similares aos encontrados nos ensaios abrasivos, um resultado condizente com os eventos tribológicos em curso e que mostra a consistência do método.

Com o objetivo de tornar os resultados ensaios em escala reduzida mais próximos aos dos realizados em escala real, novas soluções estão sendo desenvolvidas em pesquisas paralelas realizadas pelo LTAD (BERTHOLDI, 2014), possibilitando que novos estudos envolvendo a emissão acústica sejam realizados futuramente.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

5. O método da EA foi capaz de discernir mecanismos de desgaste em ensaios de riscamento. Trincamentos tendem a gerar *bursts* com baixas frequências de pico (0 a 50 kHz), enquanto que o *stick-slip* tende a frequências de pico maiores (85 a 130 kHz);
6. O método da EA também foi capaz de caracterizar a abrasão presente no ensaio de polímeros termoplásticos e de aço contra papel abrasivo. Neste caso, foram observados gerados *bursts* com diversos picos de frequência entre 25 kHz e 225 kHz;
7. A frequência de pico se mostrou um excelente método para avaliação dos sinais acústicos adquiridos, dispensando avaliações do PSD, que são menos evidentes e possuem muitos detalhes irrelevantes;
8. A Emissão Acústica detectou parte dos eventos de desgaste que surgiram nos ensaios de deslizamento em escala reduzida de um pino de PA contra um plano de PU. Além disso, a semelhança entre as frequências de pico do ensaio em escala reduzida e os ensaios abrasivos indicaram que existe potencial de se conseguir aplicar a EA no monitoramento do desgaste de polímeros;
9. A medição da EA no ensaio de escala real não alcançou seus objetivos por causa da alta temperatura no contato, da grande distância entre sensor e eventos de desgaste e do alto amortecimento do PU, apesar dos mecanismos de desgaste terem sido bem mais severos do que nos ensaios de escala reduzida;
10. Os resultados obtidos indicam que o baixo desgaste presente no ensaio em escala reduzida e as dificuldades de medição da EA no ensaio em escala real impediram que fossem realizadas análises mais detalhadas da EA destes ensaios;
11. Os ensaios realizados demonstram que caso os problemas relacionados ao posicionamento do sensor de EA e ao amortecimento do PU forem contornados, o método da EA poderia auxiliar no monitoramento do desgaste do *liner*.

CAPÍTULO VI

SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

1. Realizar ensaios de tração em polímeros, especialmente PU e PA, para se ter uma ideia mais precisa de seu comportamento acústico durante a propagação de trincas;
2. Modificar os ensaios de esclerometria para serem realizados com carga constante, o que possibilitará a ocorrência de um único mecanismo de desgaste em cada riscamento, ao invés de vários, facilitando assim as análises realizadas;
3. Aprimorar a metodologia de testes em pequena escala, através de variações nos parâmetros de ensaio (amplitude, força e velocidade), de modo a tentar alcançar temperaturas maiores no contato e gerar o mecanismo de fadiga de contato e fazer com que seus resultados se assemelhem mais aos do tribômetro em escala real;
4. Aplicar EA a demais linhas de pesquisa dentro do LTAD, tais como indentação instrumentada, erosão e reparo por atrito;
5. Registrar áudio e vídeo nos ensaios de esclerometria retilínea;
6. Correlacionar energia acústica com perda de massa em ensaios abrasivos;
7. Aprimorar a metodologia de medição dos sinais acústicos no tribômetro, posicionando o sensor em um local mais próximo da região onde ocorre desgaste;
8. Empregar dois ou mais sensores simultâneos na medição da EA, seja para se isolar ruídos com mais facilidade, seja para localizar com exatidão a fonte de cada *burst*, especialmente em ensaios abrasivos;
9. Realizar medições com pelo menos dois sensores de EA com respostas em frequência distintas para avaliar a influência do modelo do sensor sobre os resultados;
10. Aplicar algoritmos de IA aplicados à análise de conglomerados e de padrões no monitoramento via EA, de modo a se fazer uma distinção ainda mais precisa dos mecanismos de desgaste;
11. Desenvolver algoritmos capazes de apontar os mecanismos de desgaste em curso nos ensaios realizados;
12. Estudar e tentar aplicar diferentes ferramentas para análise da EA, tais como filtro de Kalman e Transformada de Hilbert-Huang (HHT).

CAPÍTULO VII

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABO-EL-EZZ, A. E. Acoustic Emission Detection of Micro-Cracks Initiation and Growth in Polymeric Materials. **Current Advances in Mechanical Design and Production**, v. VII, p. 253–260, 2000.

ARAÚJO, T. F. **Instrumentação e controle de um macroesclerômetro para análise de revestimentos tribológicos**. 2008. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

ASAMENE, K.; SUNDARESAN, M. Analysis of experimentally generated friction related acoustic emission signals. **Wear**, v. 296, n. 1-2, p. 607–618, 2012.

ASTM (American Society for Testing and Materials). **D5963 - Standard Test Method for Rubber Property — Abrasion Resistance (Rotary Drum Abrader)**. 2004.

ASTM (American Society for Testing and Materials). **D7027 - Standard Test Method for Evaluation of Scratch Resistance of Polymeric Coatings and Plastics Using an Instrumented Scratch Machine**. 2013.

ASTM (American Society for Testing and Materials). **E1316 - Standard Terminology for Nondestructive Examinations**. 2011.

BAI, Y.; BAI, Q. Flexible *Risers* and Flowlines. **Subsea Pipelines and Risers**, pp. 497–507, Elsevier, 2005.

BARANOV, V.; KUDRYAVTSEV, E.; SARYCHEV, G.; SCHAVELIN, V. Friction of Solids and Nature of Acoustic Emission. **Acoustic Emission in Friction**, pp. 1–36, Elsevier, 2007.

BERTHOLDI, J. **Comportamento Tribológico de Poliuretanos Elastoméricos no Desgaste por Deslizamento contra Risers de Poliamida**. 2014. Qualificação de Doutorado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

BRAY, D. E., McBRIDE, D. **Non destructive testing techniques**, New York, J. Wiley, 1992.

BRISCOE, B.; EVANS, P. D.; PELLILLO, E.; SINHA, S.K.; Scratching maps for polymers. **Wear**, v. 200, p. 137–147, 1996.

CLARKE, T.; JACQUES, R.; BISOGNIN, A.; CAMERINI, C.; DAMASCENO, S.; STROHAECKER, T. Monitoring the structural integrity of a flexible *riser* during a full-scale fatigue test. **Engineering Structures**, v. 33, n. 4, p. 1181–1186, 2011.

da SILVA, R.; da SILVA, C.; MEDEIROS, J. Is there delamination wear in polyurethane? **Wear**, v. 263, p. 974–983, 2007.

FERRARESI, V. A. **Estudo do fenômeno Trinca de Reaquecimento com auxílio da Emissão Acústica**. 1996. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica - Universidade Estadual de Campinas.

FERREIRA, F. M. **Avaliação Tribomecânica via Esclerometria Retilínea e Indentação Instrumentada do Aço ABNT 8550**. 2010. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

FERRER, C.; SALAS, F.; PASCUAL, M.; OROZCO, J. Discrete acoustic emission waves during stick–slip friction between steel samples. **Tribology International**, v. 43, p. 1-6, 2010.

GROSSE, C.; FINCK, F.; KURZ, J.; REINHARDT, H. Improvements of AE technique using wavelet algorithms, coherence functions and automatic data analysis. **Construction and Building Materials**, v. 18, n. 3, p. 203–213, 2004.

GROSSE, C. U.; OHTSU, M. **Acoustic Emission Testing**, Springer, 2008.

GUTKIN, R.; GREEN, C.; VANGRATTANACHAI, S.; PINHO, S.; ROBINSON, P.; CURTIS, P. On acoustic emission for failure investigation in CFRP: Pattern recognition and peak frequency analyses. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 25, n. 4, p. 1393–1407, 2011.

HASE, A.; MISHINA, H.; WADA, M. Correlation between features of acoustic emission signals and mechanical wear mechanisms. **Wear**, v. 292-293, p. 144–150, 2012.

HUTCHINGS I. M. **Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials**. Butterworth-Heinemann, London, 2003

HWANG, H. F.; FERREIRA, F. M.; PAES, M. T. P.; TEODORO, E. B.; FRANCO, V. L. D.; FRANCO, S. D. Desenvolvimento de um Tribômetro para Ensaio em Escala Real de Revestimentos de Linhas Flexíveis (*Risers*). **POSMEC 2006**, Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, 2006.

IQBAL, T.; BRISCOE, B. J.; LUCKHAM, P. F. Scratch deformations of poly(etheretherketone). **Wear**, v. 271, p. 1181–1193, 2011.

JIAA, C.; DORNFELD, D. Experimental studies of sliding friction and wear via acoustic emission signal analysis. **Wear**, v. 139, p. 403–424, 1990.

JIANG, H.; BROWNING, R.; SUE, H.-J. Understanding of scratch-induced damage mechanisms in polymers. **Polymer**, v. 50, p. 4056–4065, 2009.

KALOGIANNAKIS, G.; QUINTELIER, J.; DE BAETS, P.; DEGRIECK, J.; VAN HEMELRIJCK, D. (2008). Identification of wear mechanisms of glass/polyester composites by means of acoustic emission. **Wear**, v. 264, p. 235–244, 2008.

KANNATEY-ASIBU, E.; DORNFELD, D. A study of tool wear using statistical analysis of metal-cutting acoustic emission. **Wear**, v. 76, p. 247–261, 1982.

KEMPF, M.; SKRABALA, O.; ALTSTÄDT, V. Acoustic emission analysis for characterization of damage mechanisms in fibre reinforced thermosetting polyurethane and epoxy. **Composites Part B: Engineering**, v. 56, p. 477–483, 2014.

KURKCU, P.; ANDENA, L.; PAVAN, A. An experimental investigation of the scratch behaviour of polymers: 2. Influence of hard or soft fillers. **Wear**, 2014, DOI: 10.1016/j.wear.2014.03.011.

LEMOES, C. A. D.; FILHO, L. L. L.; SANTOS, J. M.; CAPLLONCH, R. W.; MOTTA, A. M. R.; CUSTÓDIO, A. B.; MENICONI, L. C.; COSTA, L. C. S.; FONSECA, M. M. C.; ESCUDERO, C. C.; VARDARO, E.; PAES, M. T. P. Tratamento de danos em *risers* flexíveis na região do *bend stiffener*. In: **I Seminário de Engenharia Submarina**, 2004, Búzios, RJ.

LINGARD, S.; YU, C.; YAU, C. Sliding wear studies using acoustic emission. **Wear**, v. 164, p. 597–604, 1993.

MARINESCU, I.; AXINTE, D. (2009). A time–frequency acoustic emission-based monitoring technique to identify workpiece surface malfunctions in milling with multiple teeth cutting simultaneously. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 49, n. 1, p. 53–65, 2009.

MARISSEN, R.; LANGE, R.; BIßELS, S.; HINKEL, P.; NOWACK, H. Scanning electron microscope visualisation of crack initiation and propagation under static and fatigue loading on thermoplastic elastomers. **International Journal of Fatigue**, v. 27, n. 1, p. 71–84, 2005.

MARTÍNEZ, F.; CANALES, M.; BIELSA, J.; JIMÉNEZ, M. Relationship between wear rate and mechanical fatigue in sliding TPU–metal contacts. **Wear**, v. 268, p. 388–398, 2010.

MORAES, M. A. F. **Desenvolvimento de Metodologias de Avaliação e Monitoramento do Desgaste no Par Tribológico Riser/Enrijecedor**. 2013. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

NEWLAND, D. E. **An introduction to Random vibrations and spectral analysis**. London, Longman, 1975.

OUT, J. M. M.; KRONEMEIJER, D. A.; VAN DE LOO, P. J.; DE STERKE, A. The integrity of flexible pipe: Search for an inspection strategy. **Engineering Structures**, v. 17, n. 4, p. 305–314, 1995.

NI, Q.; IWAMOTO, M. Wavelet transform of acoustic emission signals in failure of model composites. **Engineering fracture mechanics**, v. 69, p. 717–728, 2002.

PAES, M. T. P.; RAMOS NETO, F. F.; DE MORAES, M. A. F.; DE FREITAS, D. S.; ARENCIBIA, R. V.; FRANCO, V. L. S.; PIRES, R. R.; FRANCO, S. D. **Development of an Infrastructure and of a Methodology for Sliding Wear Tests of Flexible Riser Pipes**. Artigo a ser submetido ao periódico Wear. 2014.

PASA, **Monitoramento Contínuo de Risers Flexíveis - MCRF**. Disponível em: <http://www.pasa.com.br/site/offshore_risers.asp>. Último Acesso em: 10 Mai. 2014.

PIOTRKOWSKI, R.; GALLEGU, A.; CASTRO, E.; GARCÍA-HERNANDEZ, M. T.; RUZZANTE, J. E. Ti and Cr nitride coating/steel adherence assessed by acoustic emission wavelet analysis. **NDT & E International**, v. 38 n. 4, p. 260–267, 2005.

RAMIREZ-JIMENEZ, C.; PAPADAKIS, N.; REYNOLDS, N.; GAN, T.; PURNELL, P.; PHARAOH, M. Identification of failure modes in glass/polypropylene composites by means of the primary frequency content of the acoustic emission event. **Composites Science and Technology**, v. 64, n. 12, p. 1819–1827, 2004.

RAMOS NETO, F. F. **Desgaste Abrasivo em Materiais Poliméricos Utilizados na Proteção de Linhas Flexíveis de Condução de Petróleo**. 2003. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

SINHA, S.; LIM, D. Effects of normal load on single-pass scratching of polymer surfaces. **Wear**, v. 260, n. 7-8, p. 751–765, 2006.

VINOGRADOV, A.; ORLOV, D.; DANYUK, A.; ESTRIN, Y. Effect of grain size on the mechanisms of plastic deformation in wrought Mg–Zn–Zr alloy revealed by acoustic emission measurements. **Acta Materialia**, v. 61, n. 6, p. 2044–2056, 2013.

WOO, S.-C.; KIM, J.-T.; KIM, J.-Y.; KIM, T.-W. Correlation of fracture processes and damage mechanisms of armor structural materials under high strain rates with acoustic emission characteristics. **International Journal of Impact Engineering**, v. 63, p. 29–42, 2014.

YAHIAOUI, M.; DENAPE, J.; PARIS, J.-Y.; URAL, A. G.; ALCALÁ, N.; MARTÍNEZ, F. J. Wear dynamics of a TPU/steel contact under reciprocal sliding. **Wear**, v. 315, p. 103–114, 2014.

YANAKA, M.; NAKASO, N.; TSUKAHARA, Y.; HSU, N. Investigation of AE signals emitted from an SiO_x layer deposited on PET film. **Journal of Acoustic Emission**, v.13, p. 23–29, 1995.

ZUM GAHR, K.-H. **Microstructure and Wear of Materials**, Tribology series 10, Amsterdam, Elsevier Science Publishers, 1987.

CAPÍTULO VIII

APÊNDICES

Apêndice A - Ensaios de Esclerometria Linear

Apêndice B - Ensaios Abrasivos

Apêndice C - Ensaios de Deslizamento em Escala Reduzida

Apêndice D - Ensaios em Escala Real

Apêndice A - Ensaios de Esclerometria Linear

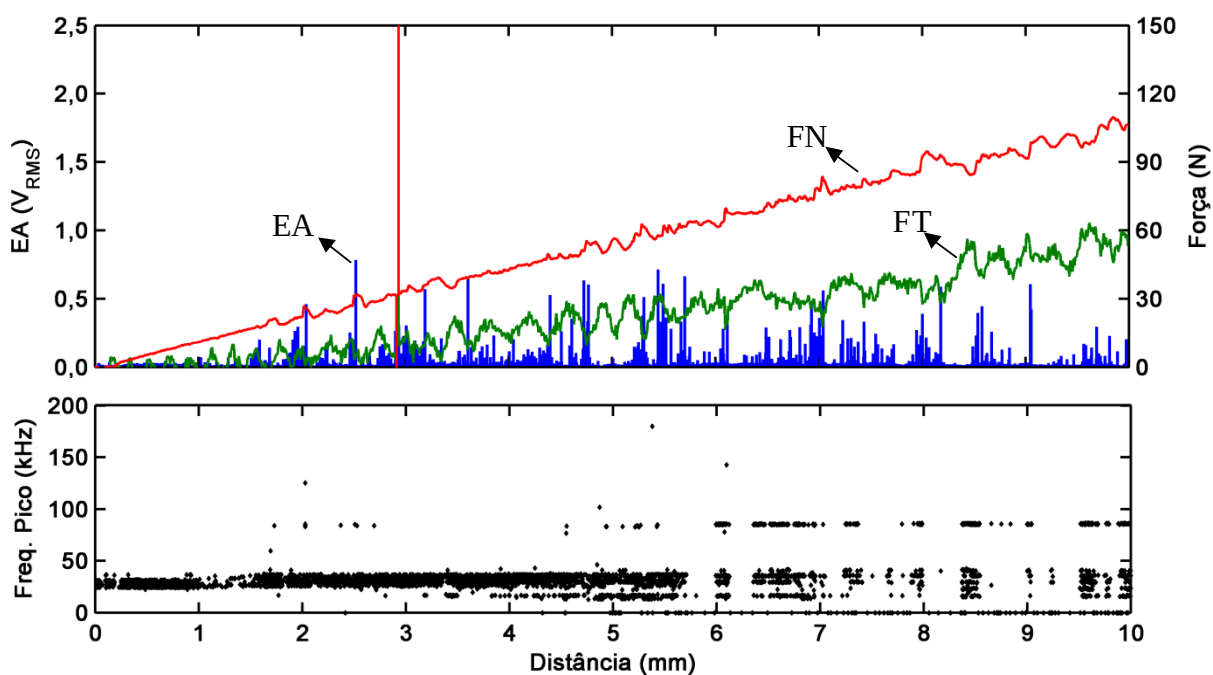


Figura 8.1 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 01, com forças, RMS da EA e frequências de pico por *burst*

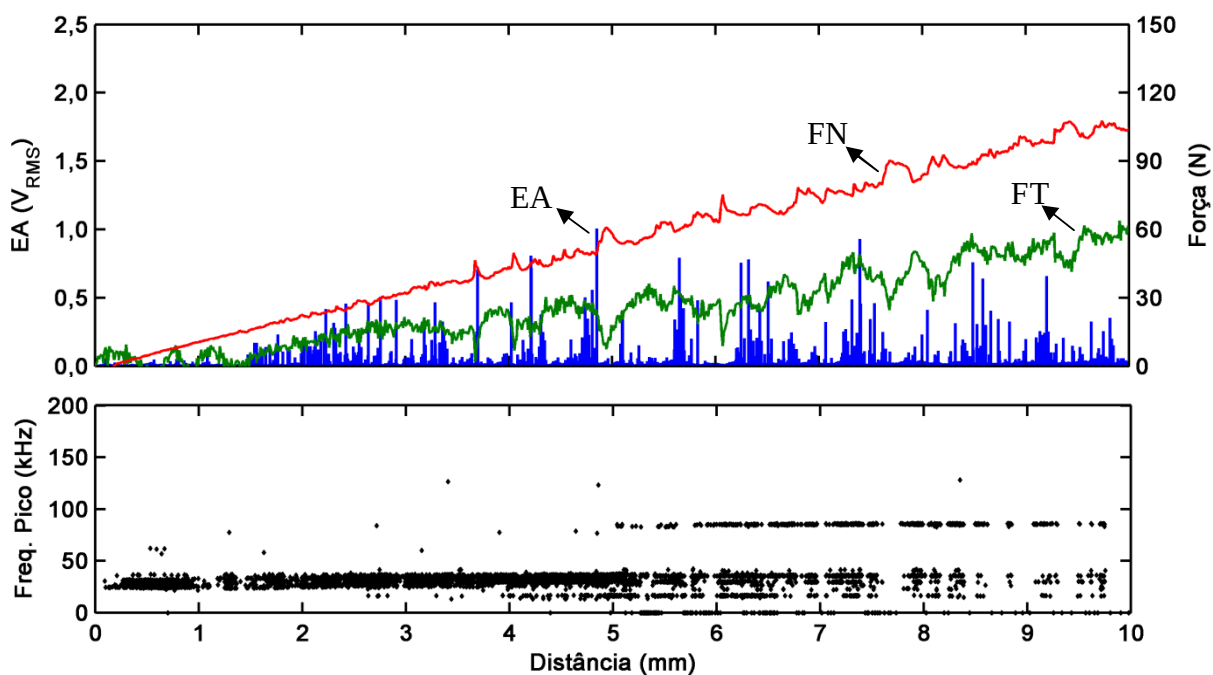


Figura 8.2 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 03, com forças, RMS da EA e frequências de pico por *burst*

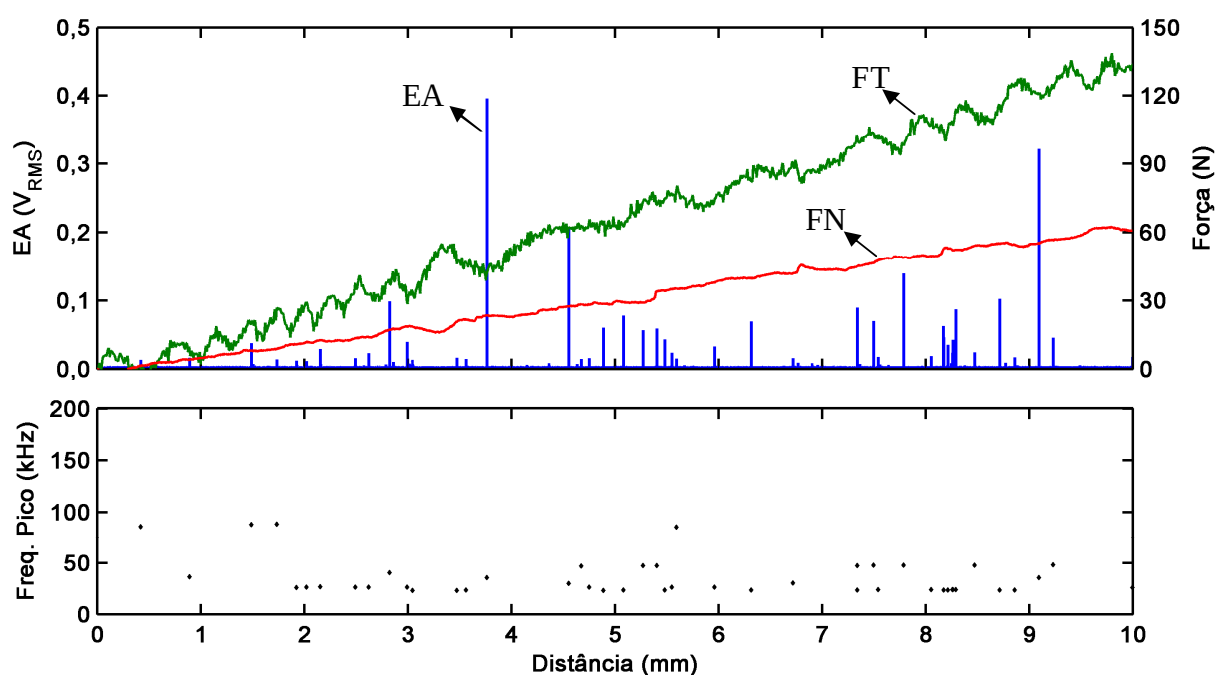


Figura 8.3 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 04, com forças, RMS da EA e frequências de pico por *burst*

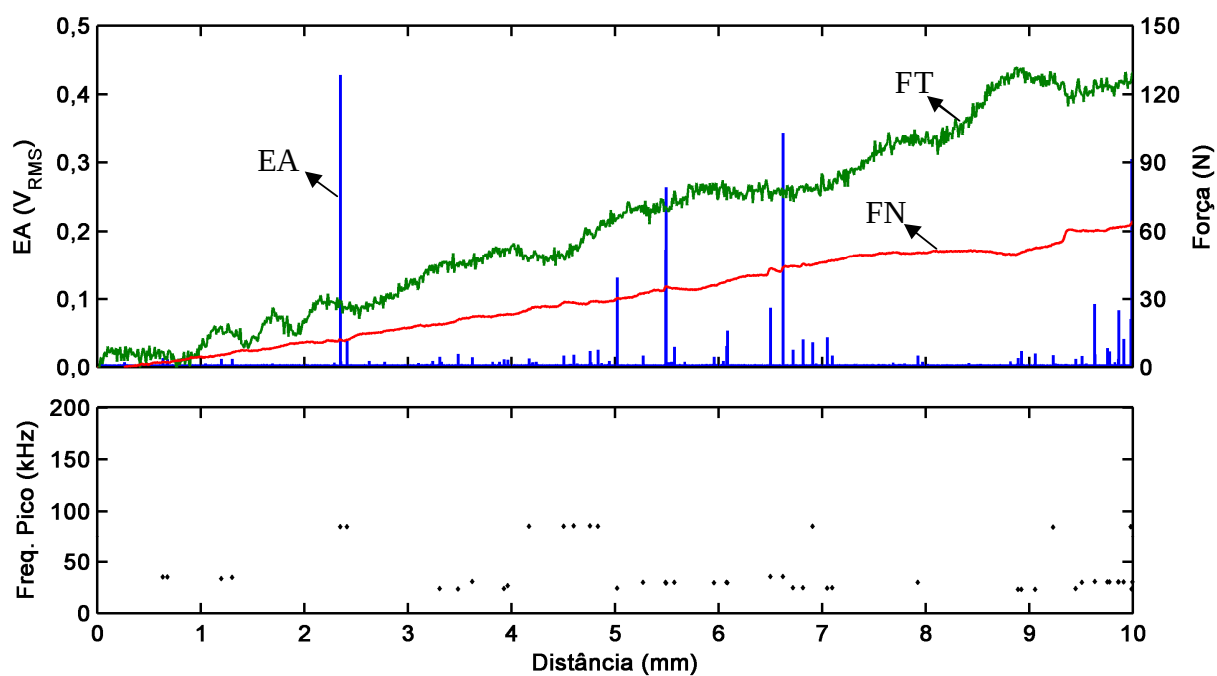


Figura 8.4 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 06, com forças, RMS da EA e frequências de pico por *burst*

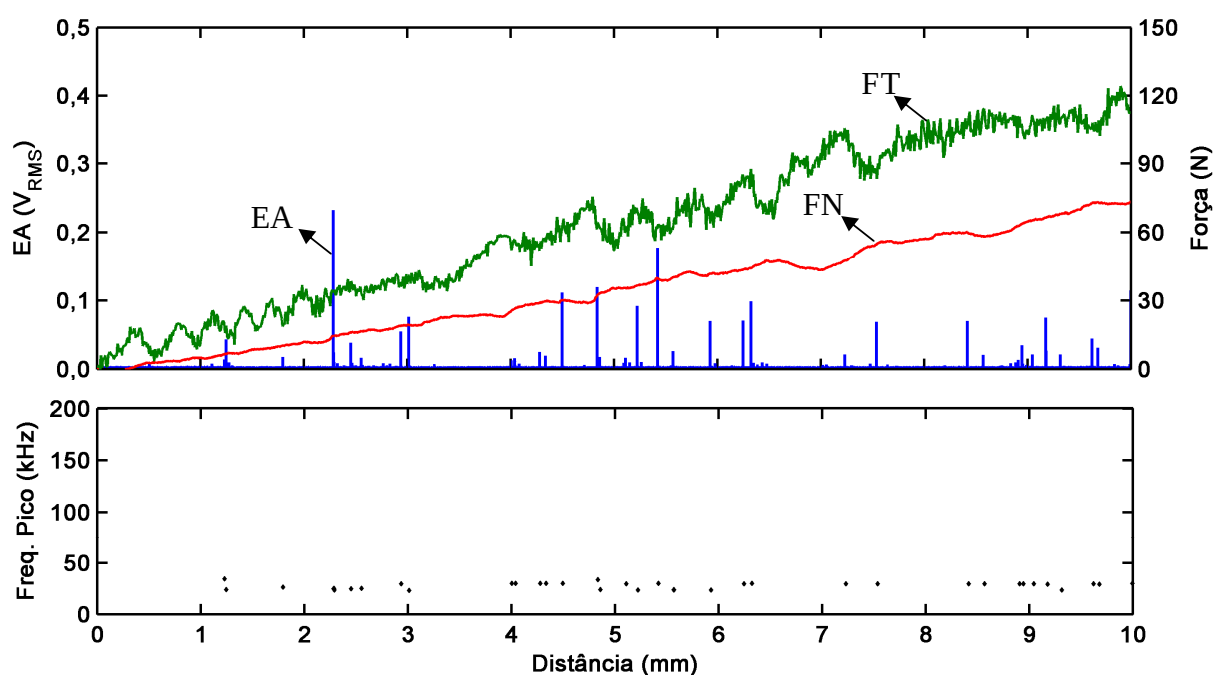


Figura 8.5 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 08, com forças, RMS da EA e frequências de pico por *burst*

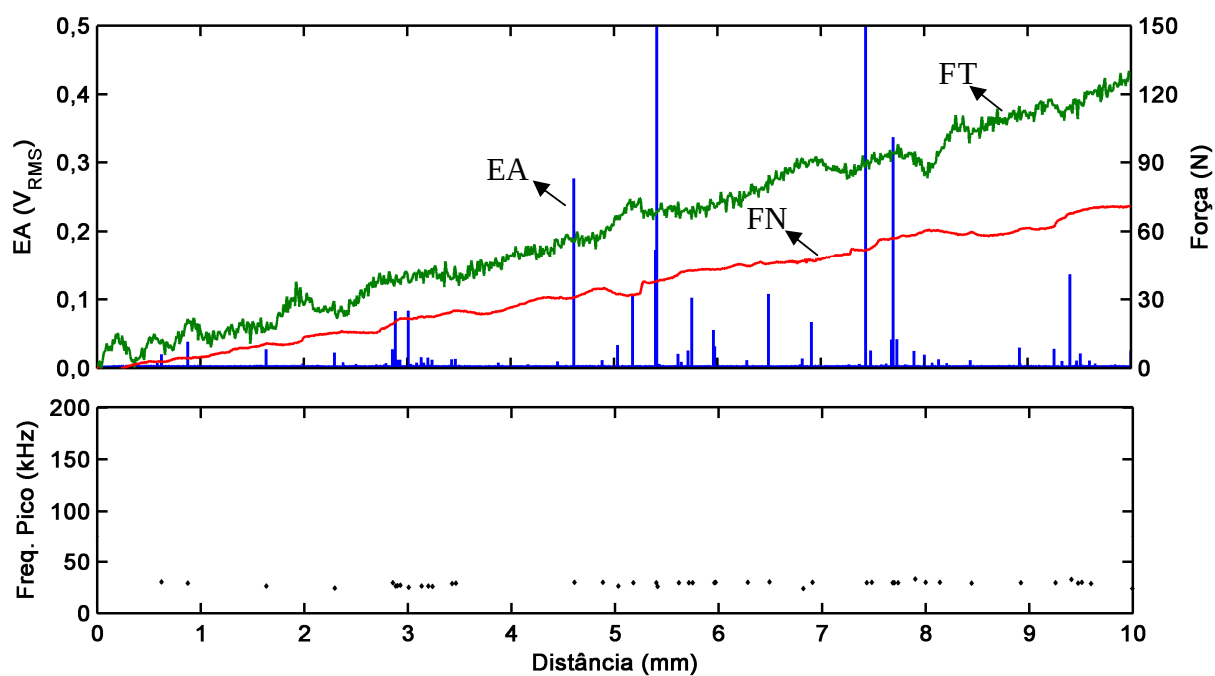


Figura 8.6 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 09, com forças, RMS da EA e frequências de pico por *burst*

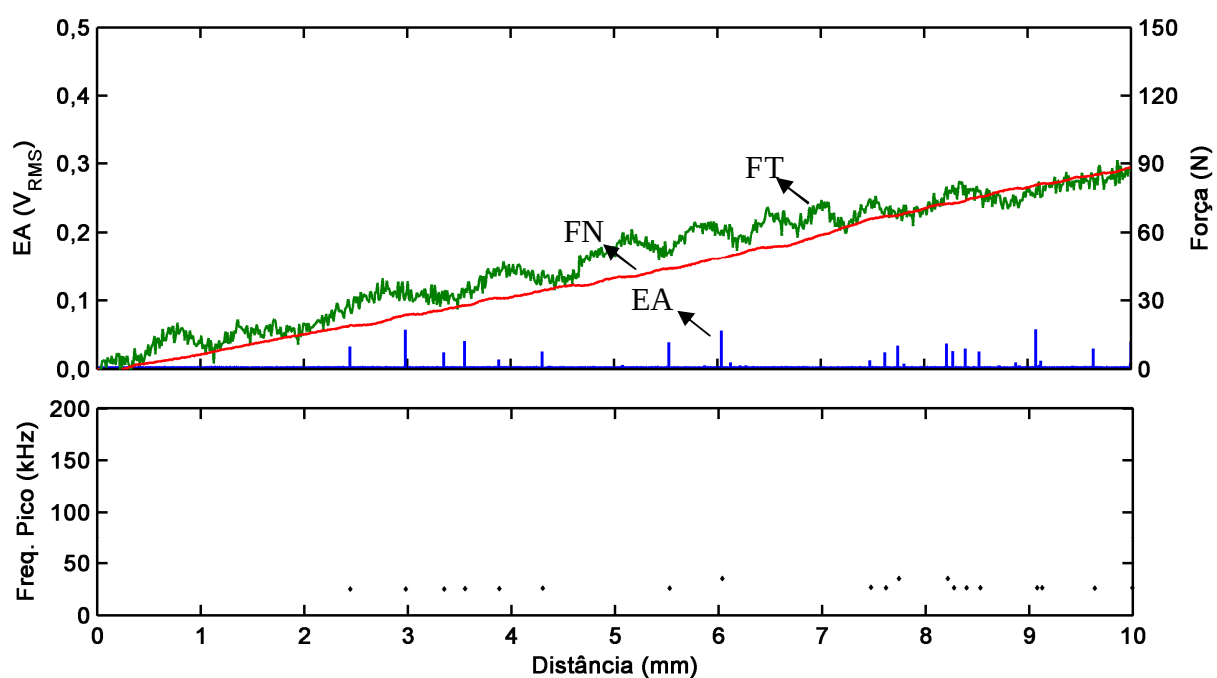


Figura 8.7 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 10, com forças, RMS da EA e frequências de pico por *burst*

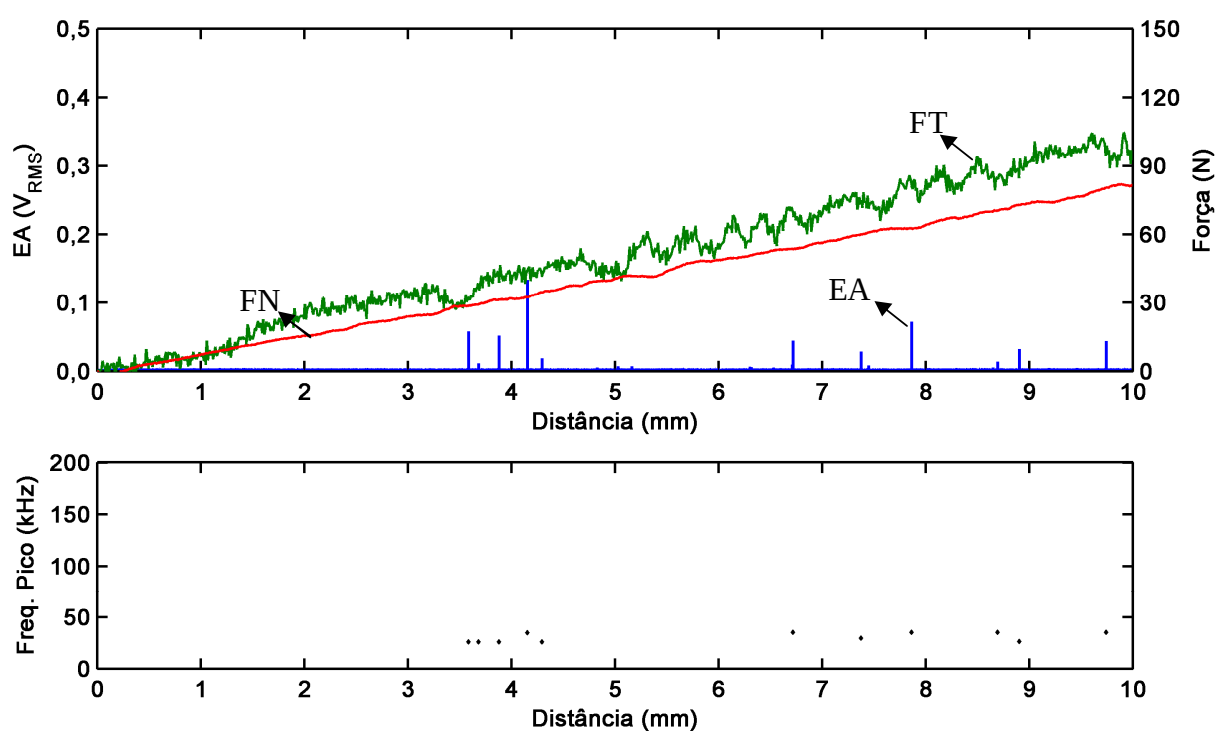


Figura 8.8 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 12, com forças, RMS da EA e frequências de pico por *burst*

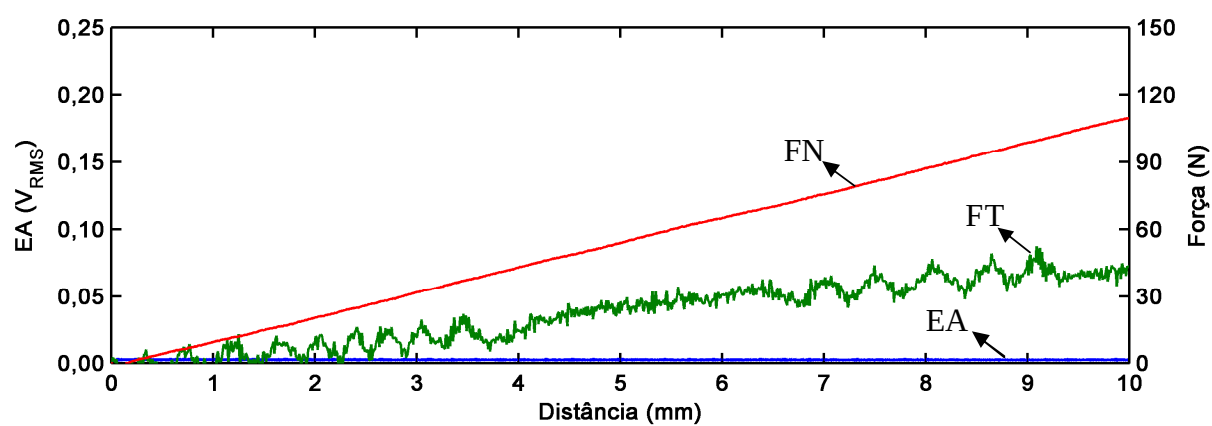


Figura 8.9 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 13, com forças e RMS da EA

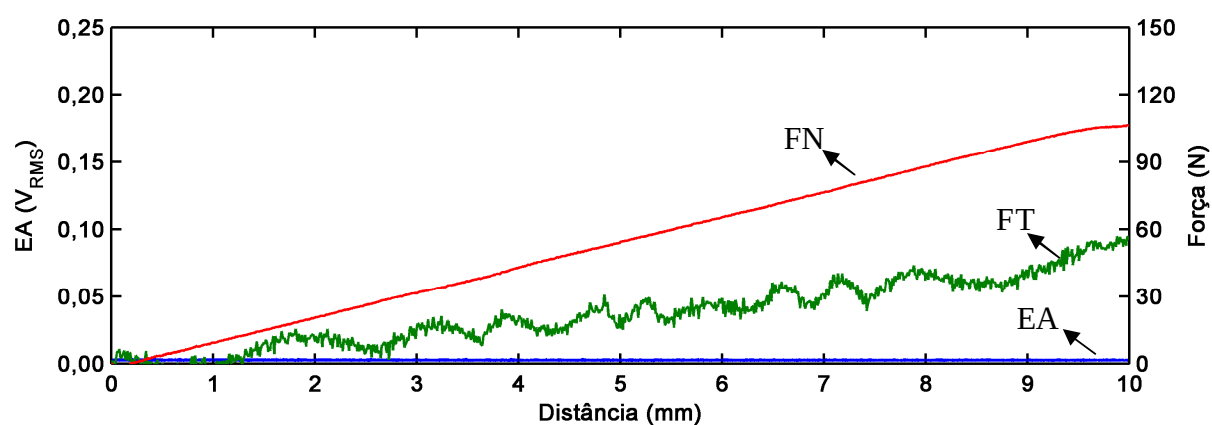


Figura 8.10 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 14, com forças e RMS da EA

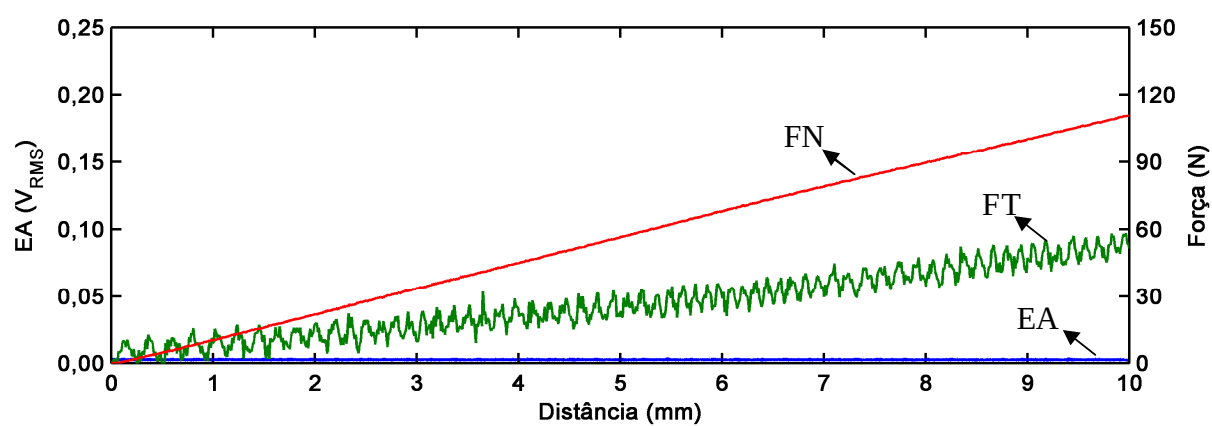


Figura 8.11 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 19, com forças e RMS da EA

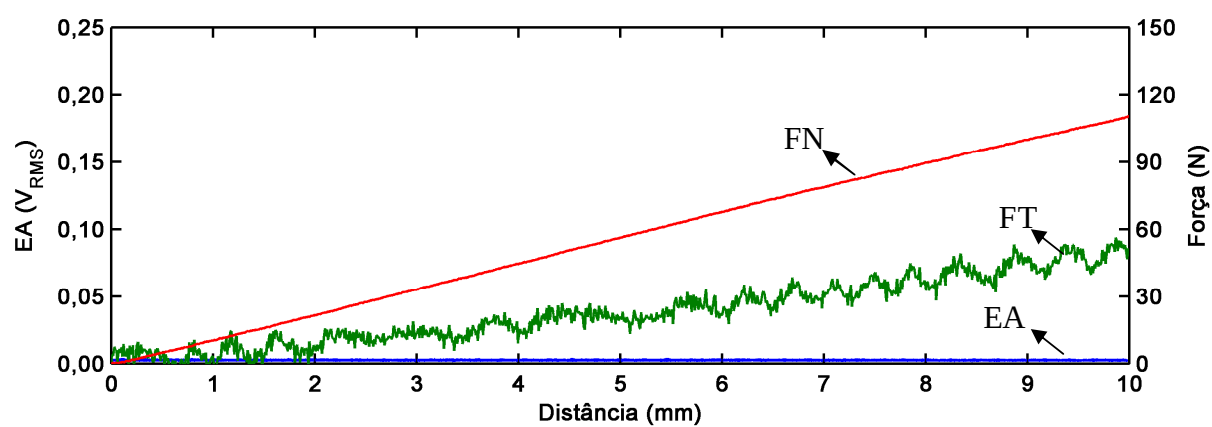


Figura 8.12 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 21, com forças e RMS da EA

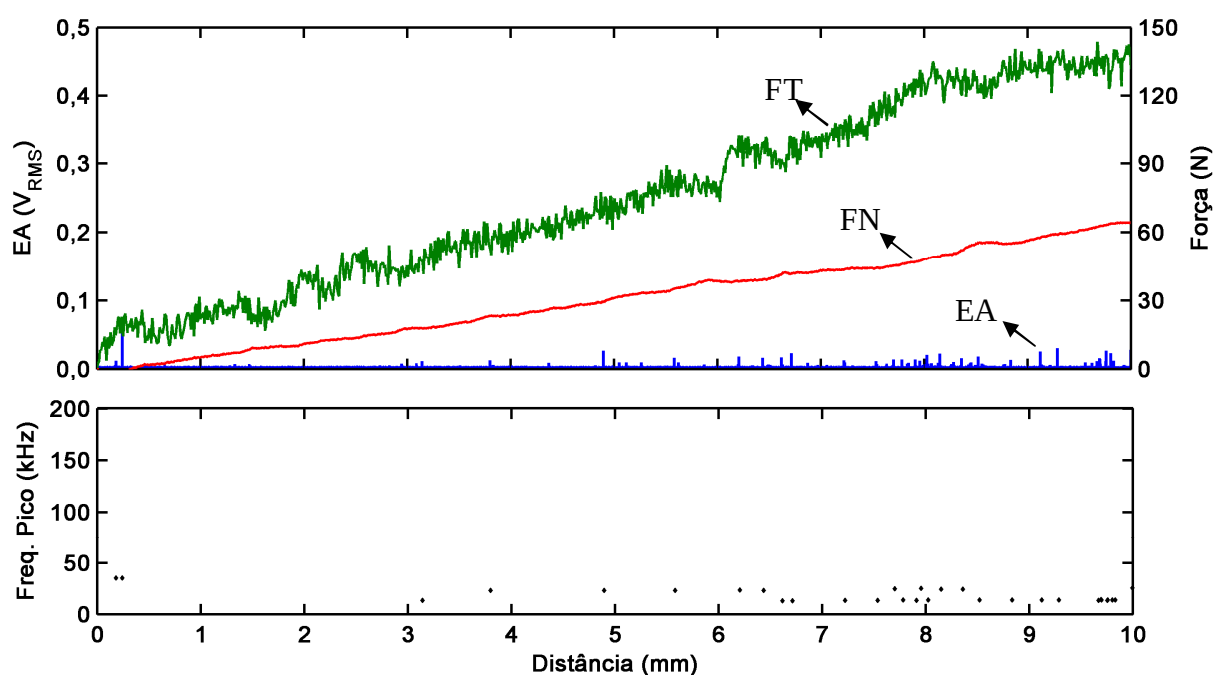


Figura 8.13 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 22, com forças, RMS da EA e frequências de pico por *burst*

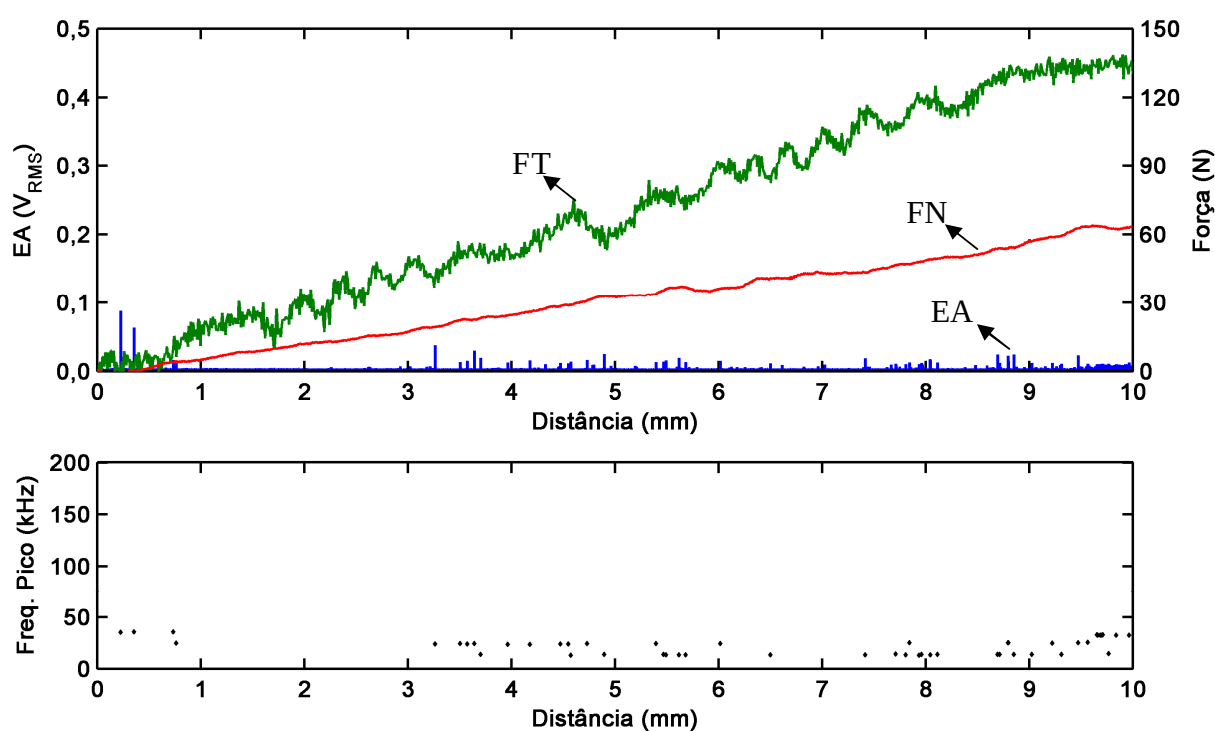


Figura 8.14 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 24, com forças, RMS da EA e frequências de pico por *burst*

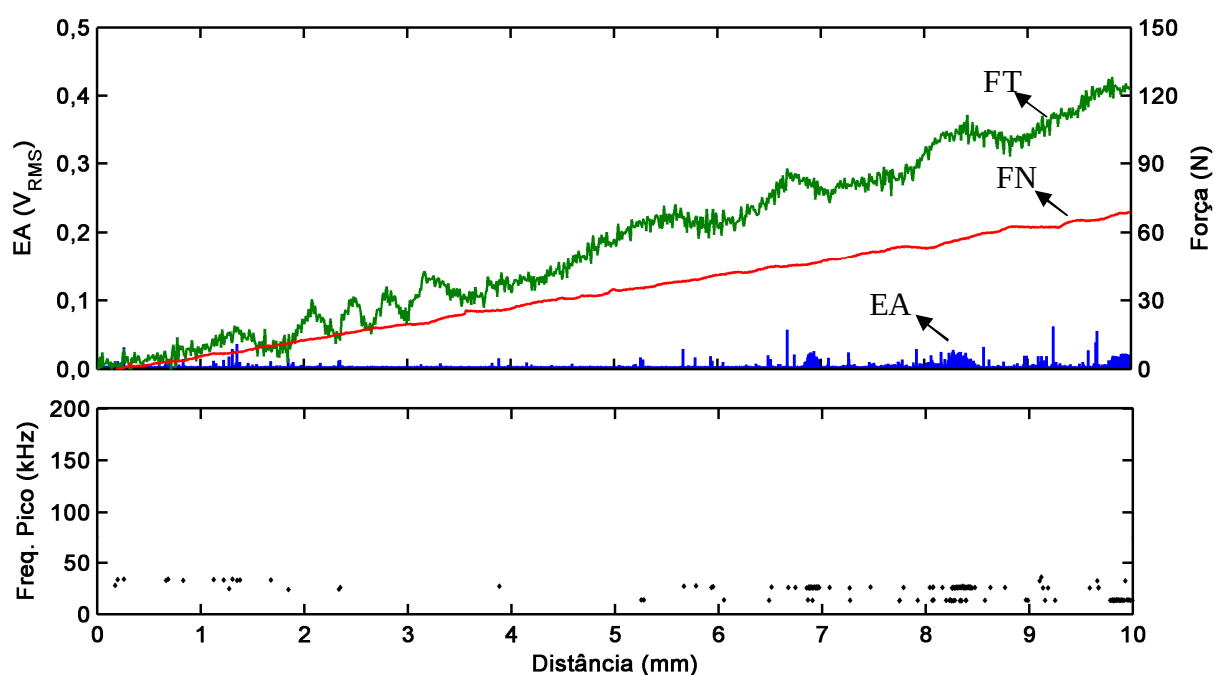


Figura 8.15 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 25, com forças, RMS da EA e frequências de pico por *burst*

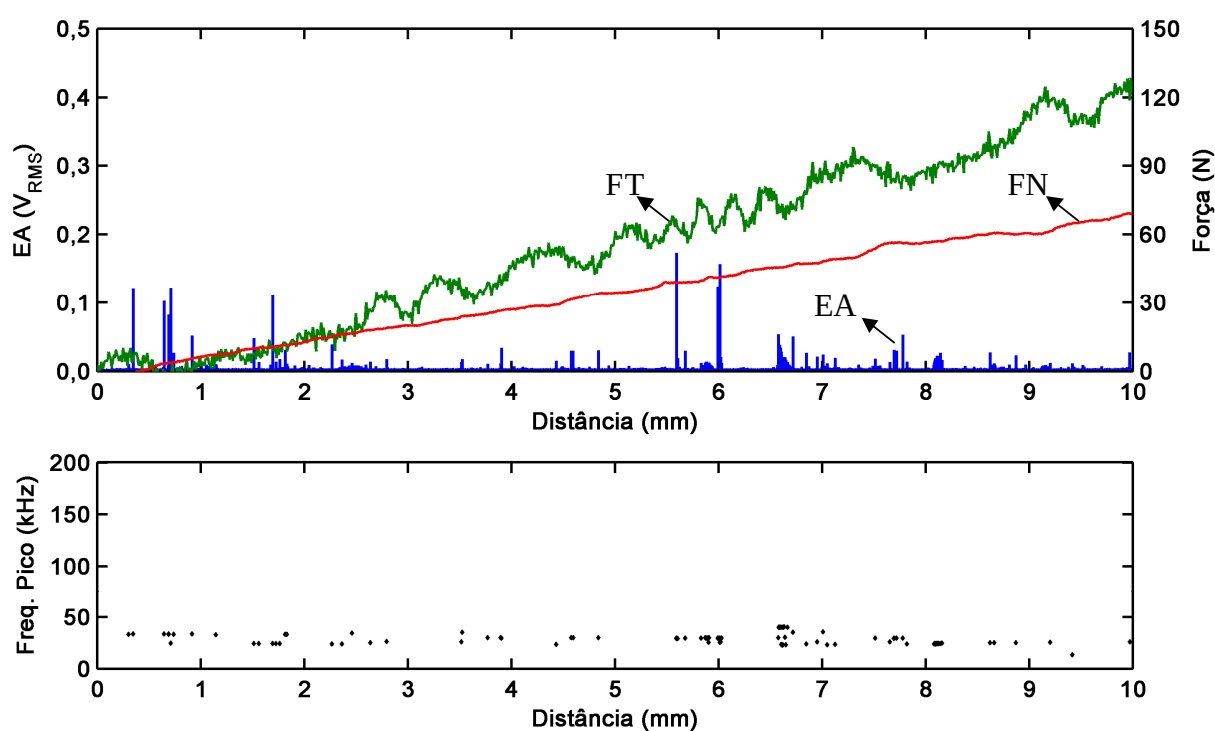


Figura 8.16 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 26, com forças, RMS da EA e frequências de pico por *burst*

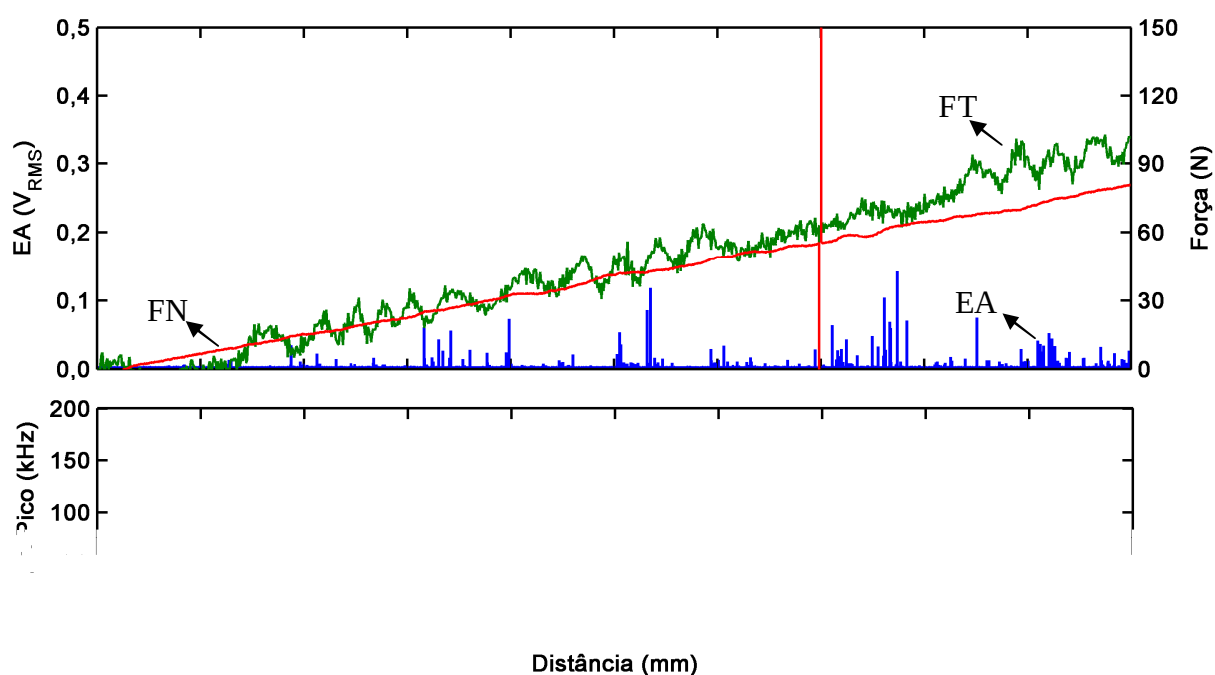


Figura 8.17 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 28, com forças, RMS da EA e frequências de pico por *burst*.

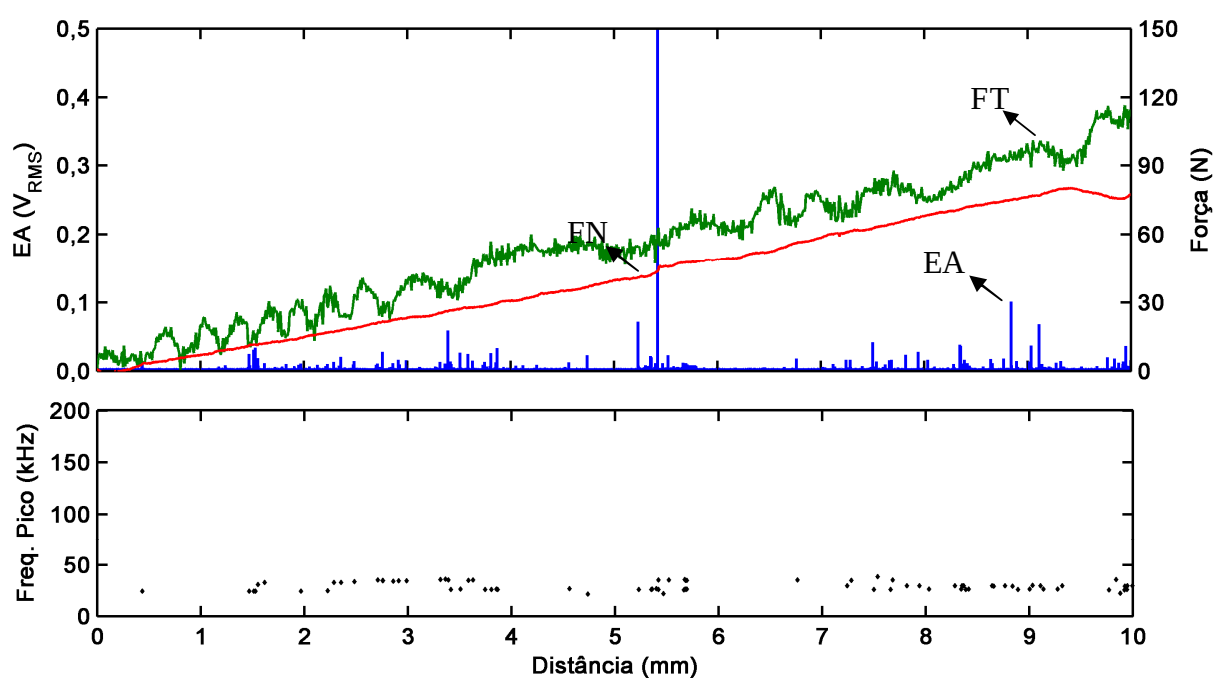


Figura 8.18 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 30, com forças, RMS da EA e frequências de pico por *burst*.

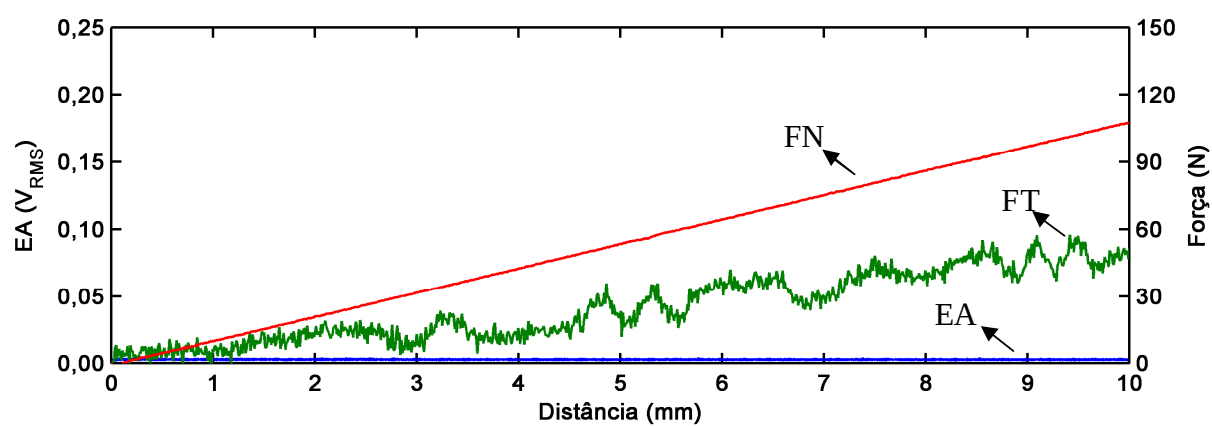


Figura 8.19 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 31, com forças e RMS da EA

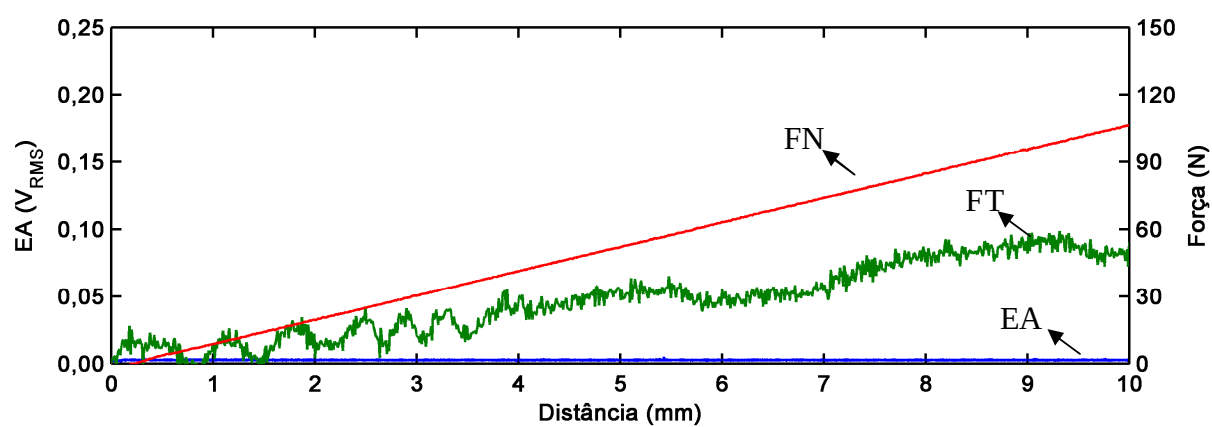


Figura 8.20 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 32, com forças e RMS da EA

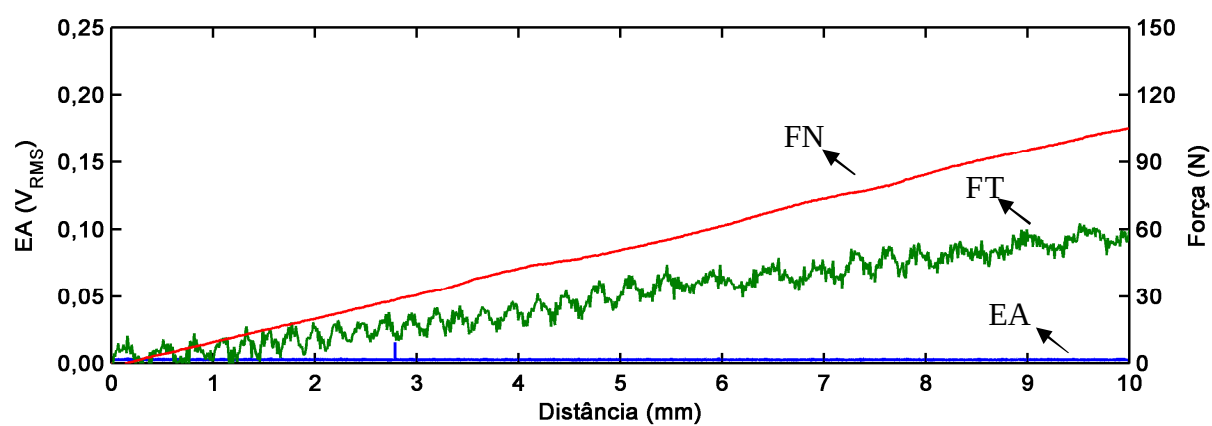


Figura 8.21 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 37, com forças e RMS da EA

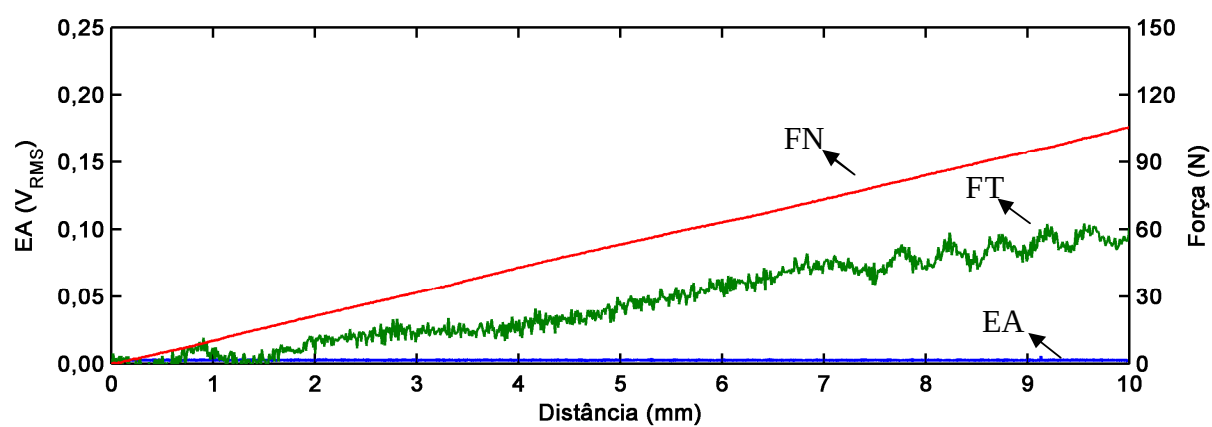


Figura 8.22 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 39, com forças e RMS da EA

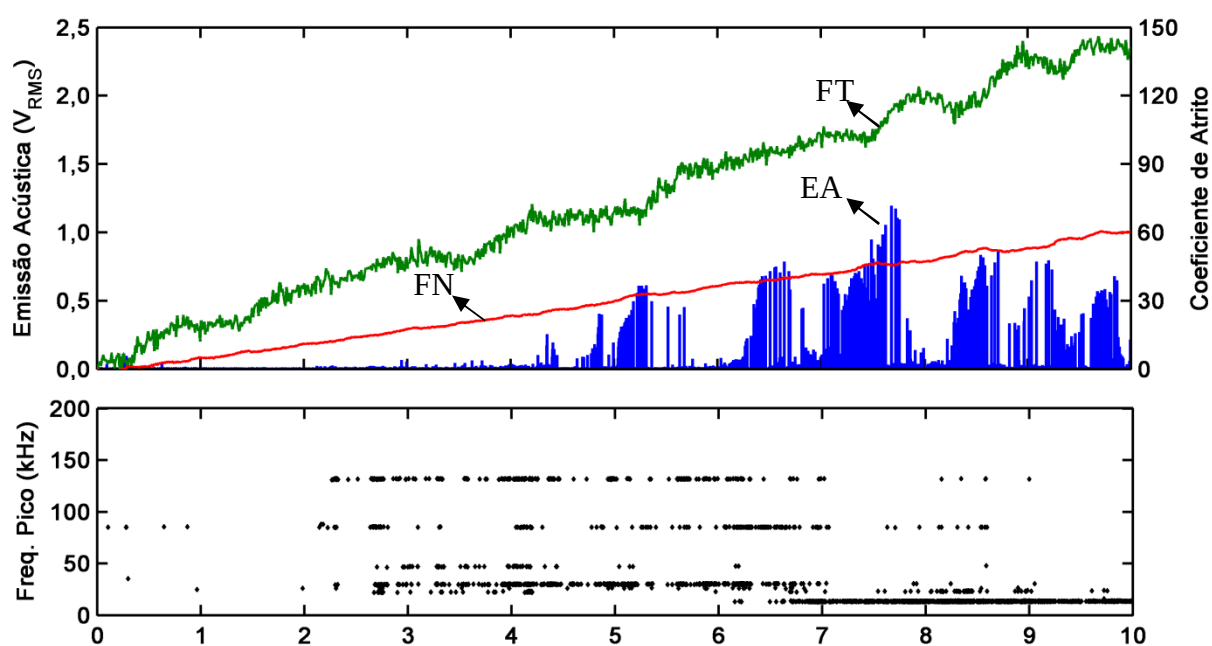


Figura 8.23 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 40, com forças, RMS da EA e frequências de pico por *burst*

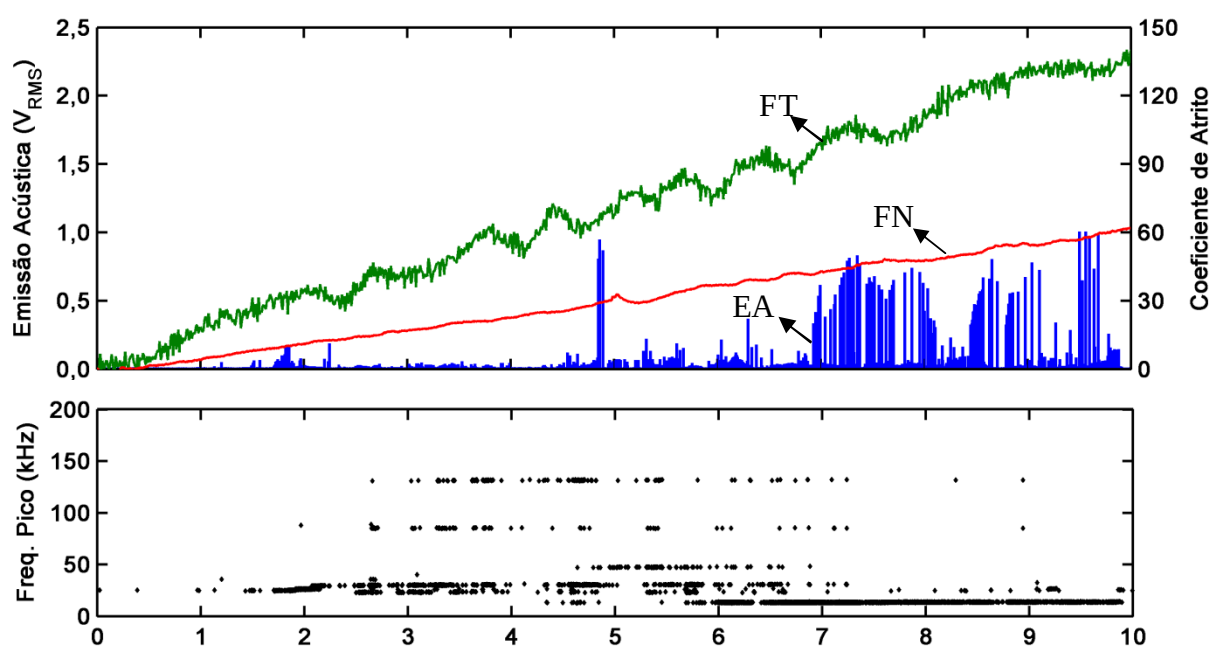


Figura 8.24 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 41, com forças, RMS da EA e frequências de pico por *burst*

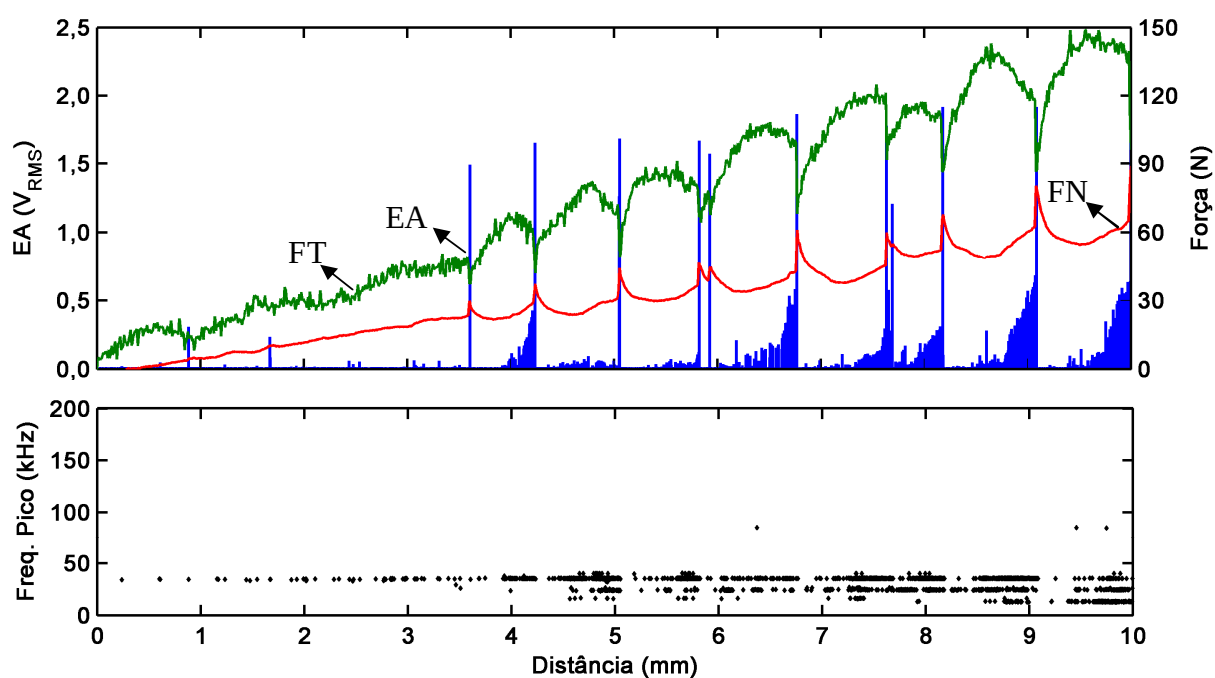


Figura 8.25 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 43, com forças, RMS da EA e frequências de pico por *burst*

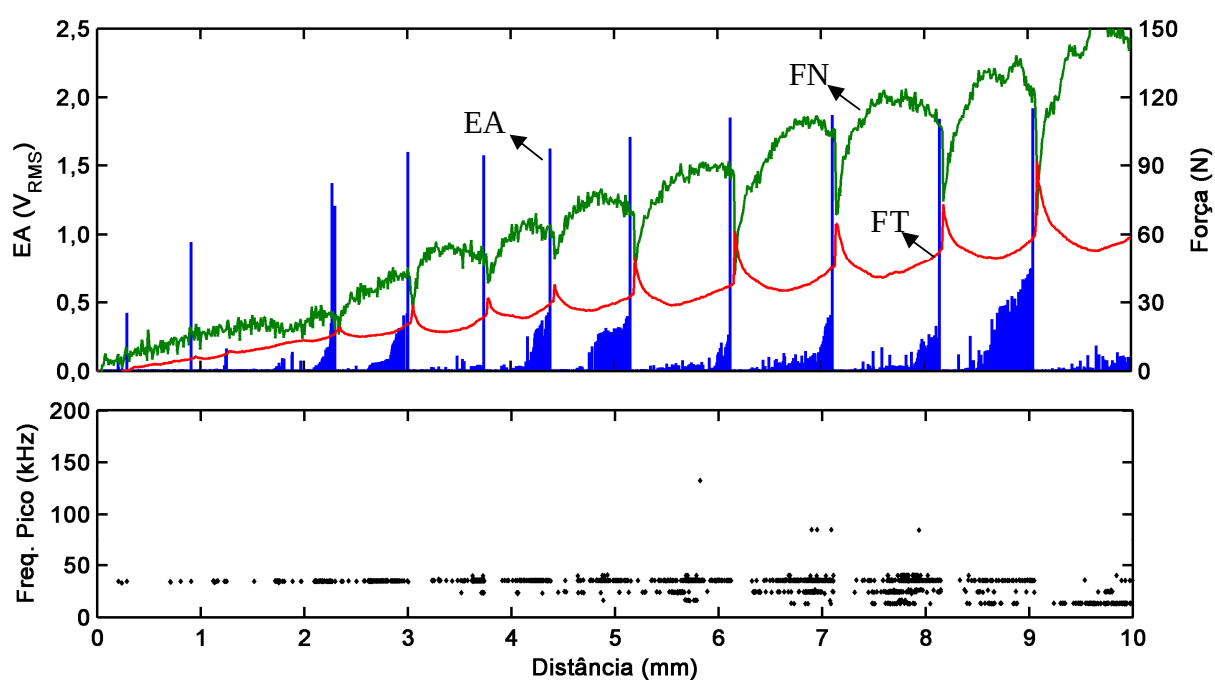


Figura 8.26 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 44, com forças, RMS da EA e frequências de pico por *burst*

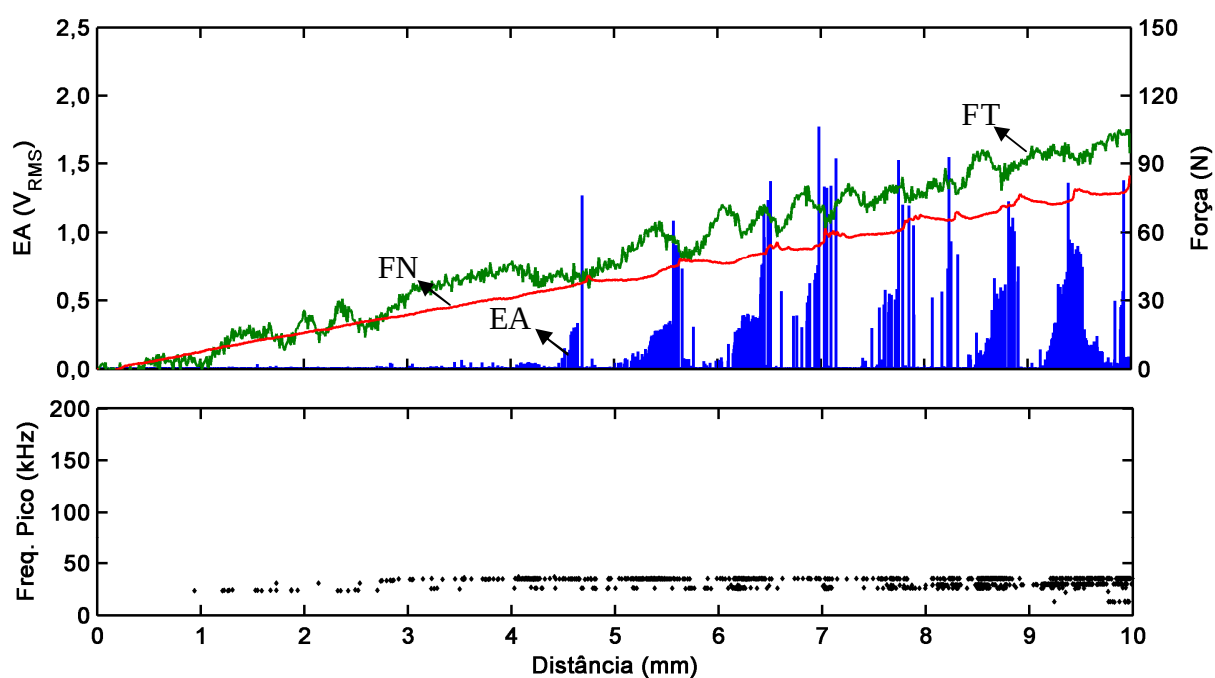


Figura 8.27 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 47, com forças, RMS da EA e frequências de pico por *burst*

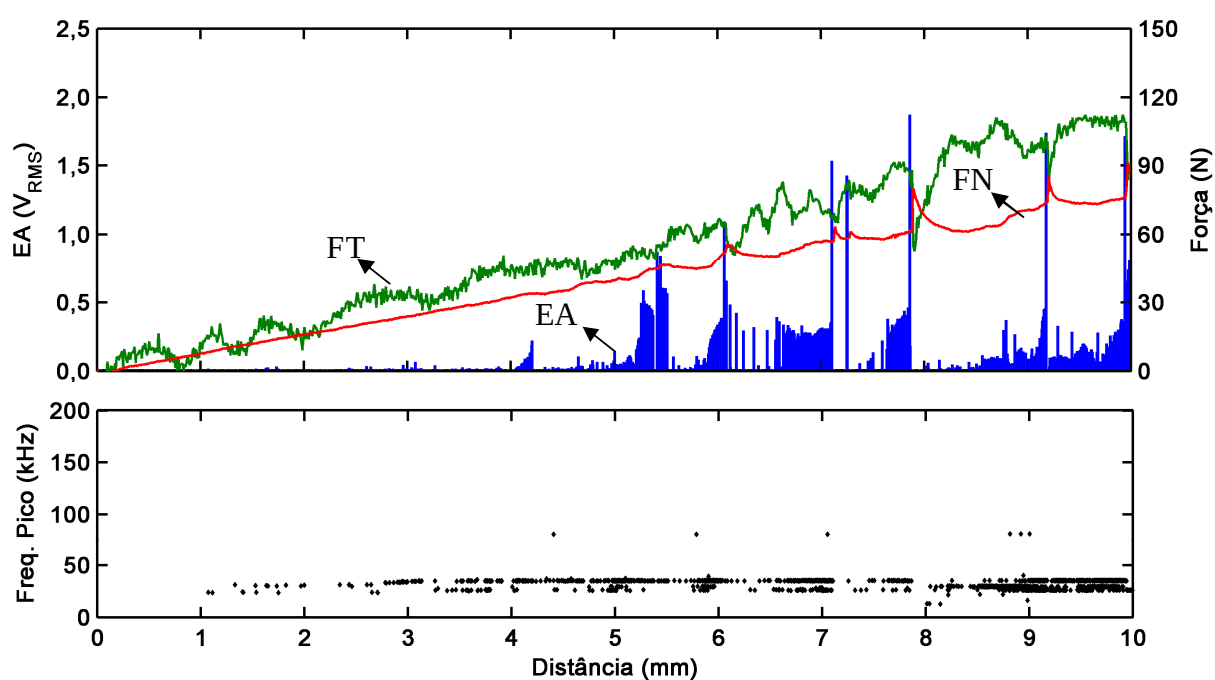


Figura 8.28 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 48, com forças, RMS da EA e frequências de pico por *burst*

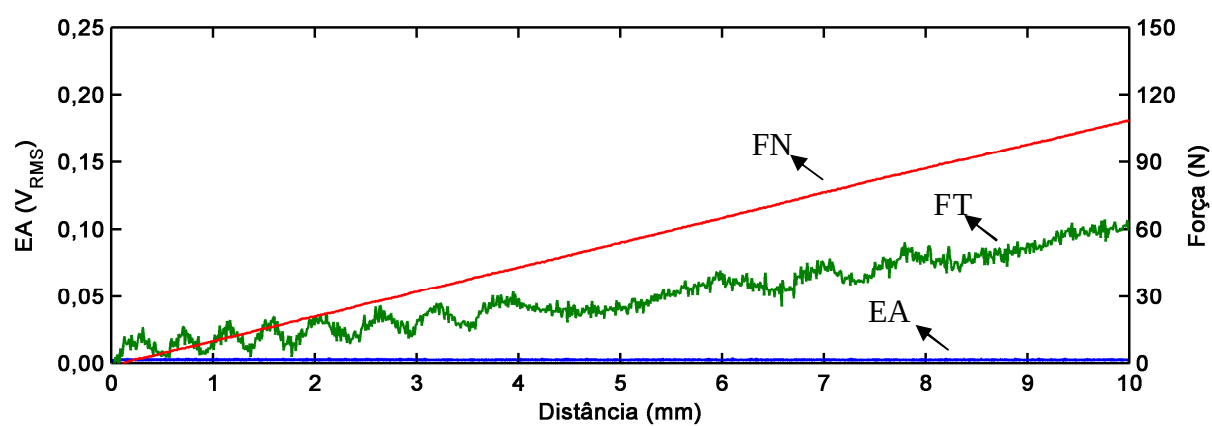


Figura 8.29 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 50, com forças e RMS da EA

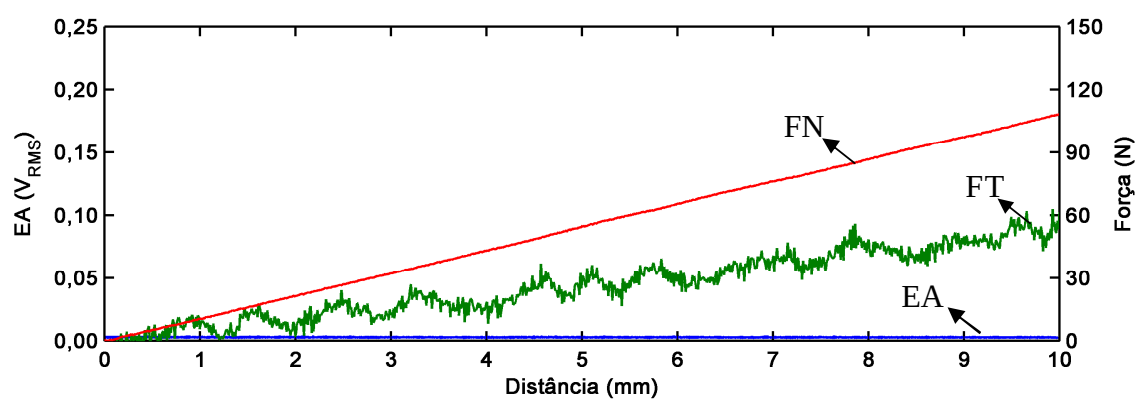


Figura 8.30 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 51, com forças e RMS da EA

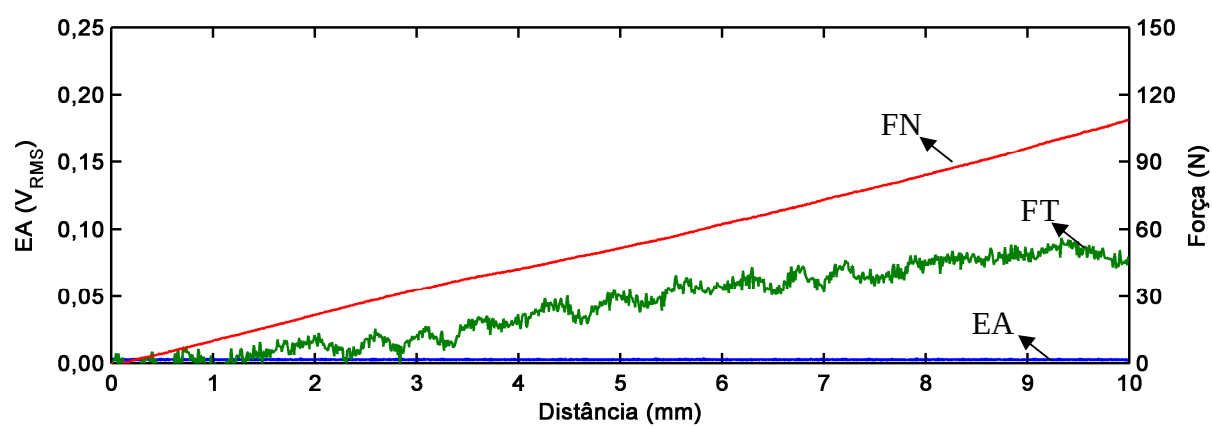


Figura 8.31 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 55, com forças e RMS da EA

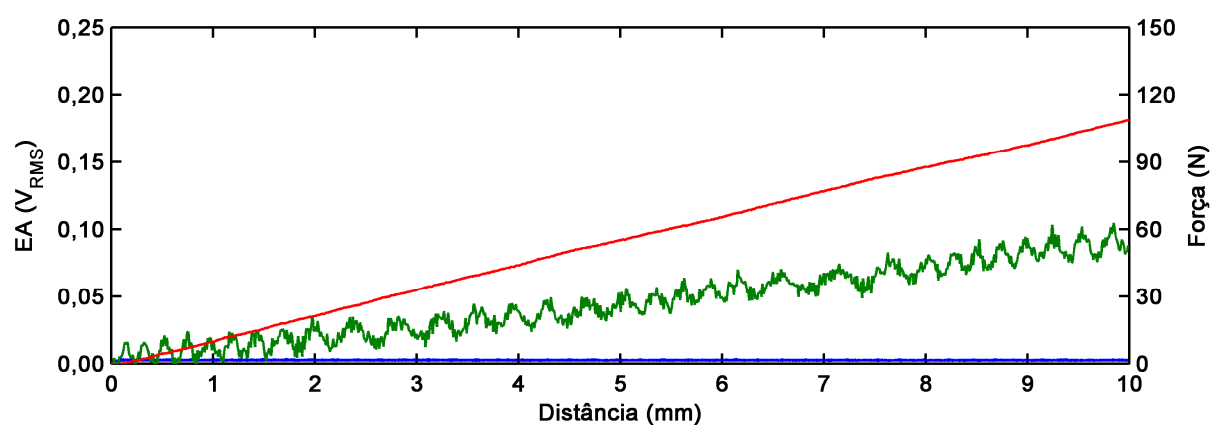


Figura 8.32 - Medições referentes ao riscamento do ensaio 57, com forças e RMS da EA

Apêndice B - Ensaios Abrasivos

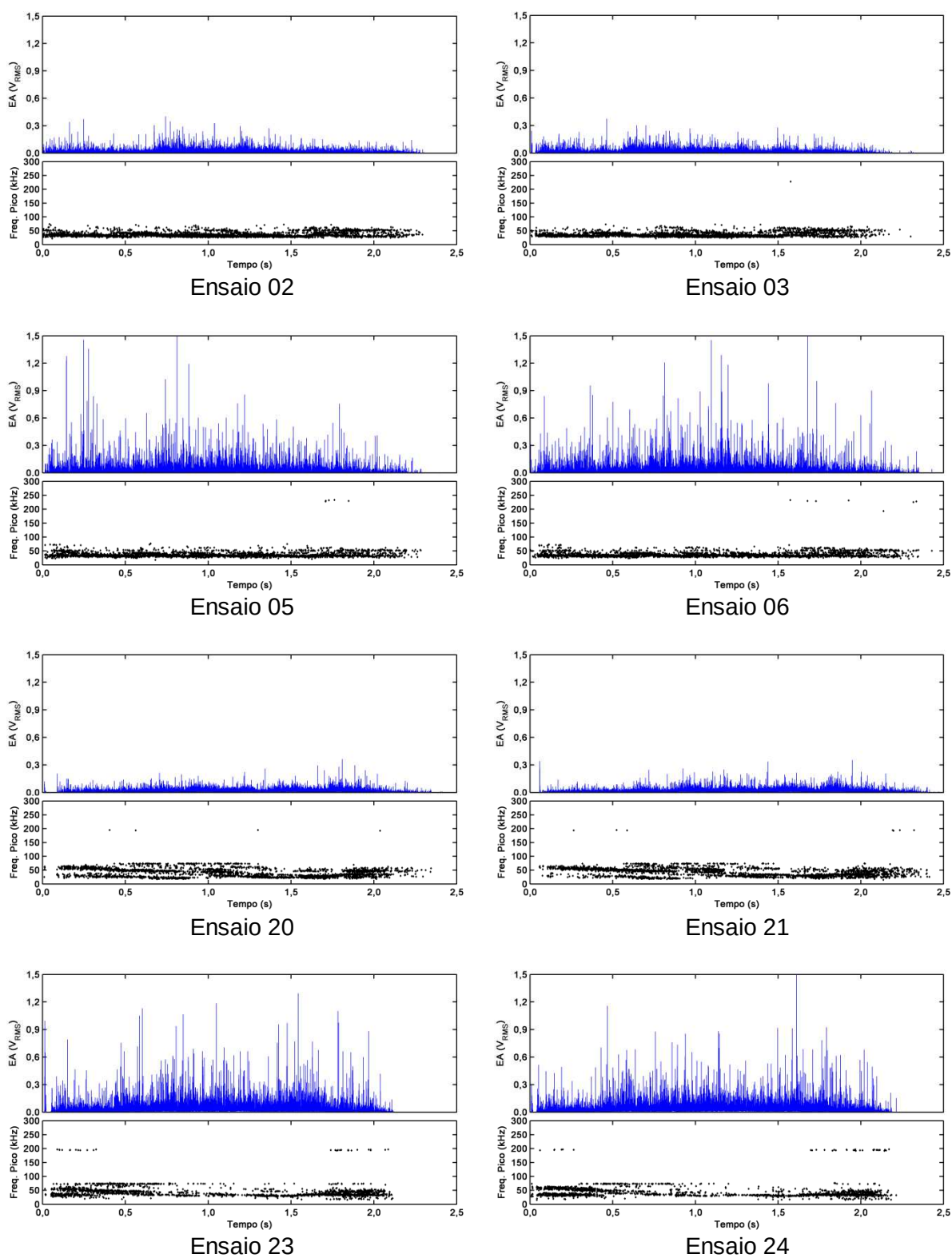


Figura 8.33 - Tensão RMS e frequências de pico da EA adquirida nos ensaios abrasivos 02, 03, 05, 06, 20, 21, 23, e 24. Corpos de aço 1010, carga e granulometria do papel abrasivo, vide Tab. 3.2

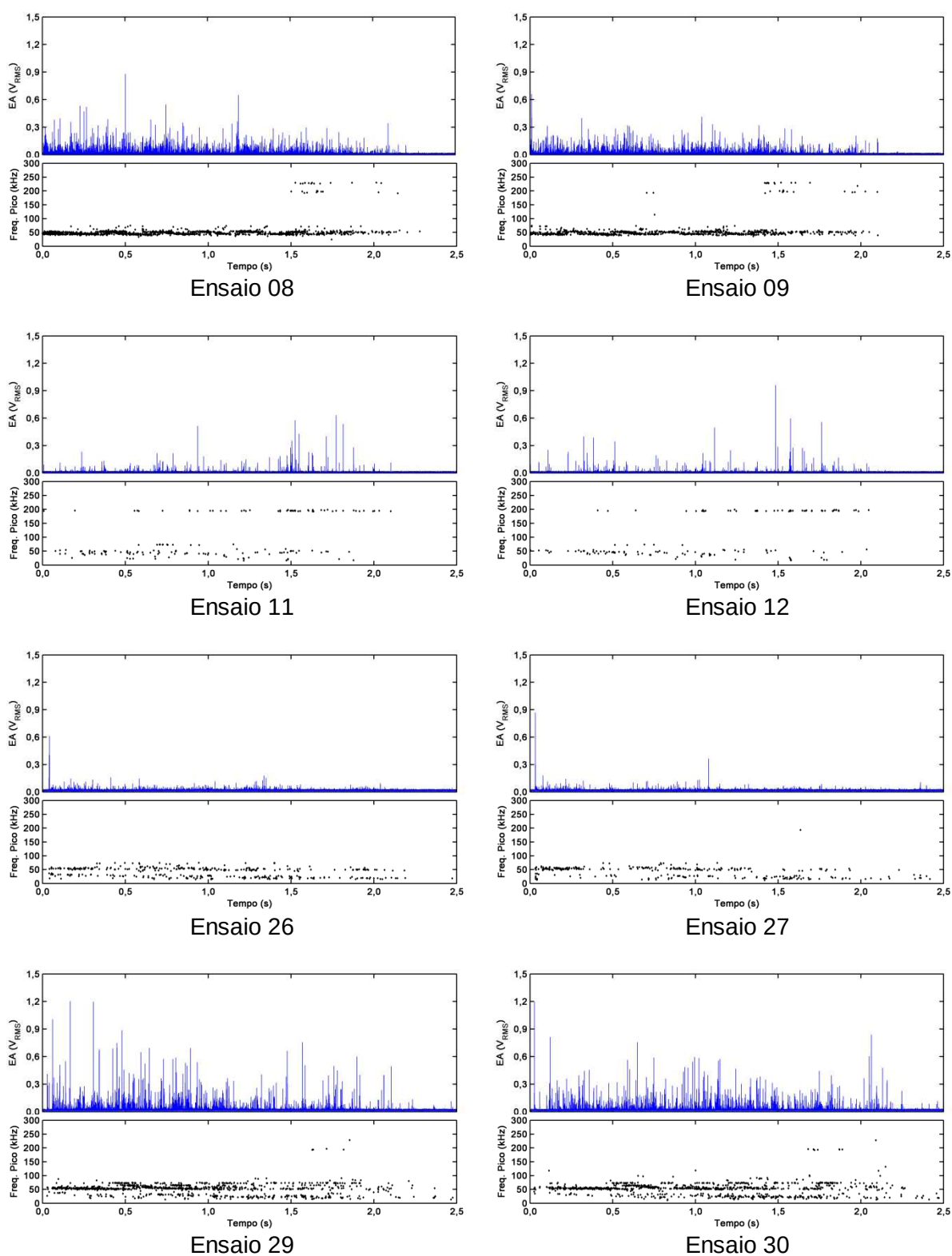


Figura 8.34 - Tensão RMS e frequências de pico da EA adquirida nos ensaios abrasivos 08, 09, 11, 12, 26, 27, 29, e 30. Corpos de PA, carga e granulometria do papel abrasivo, vide Tab. 3.2

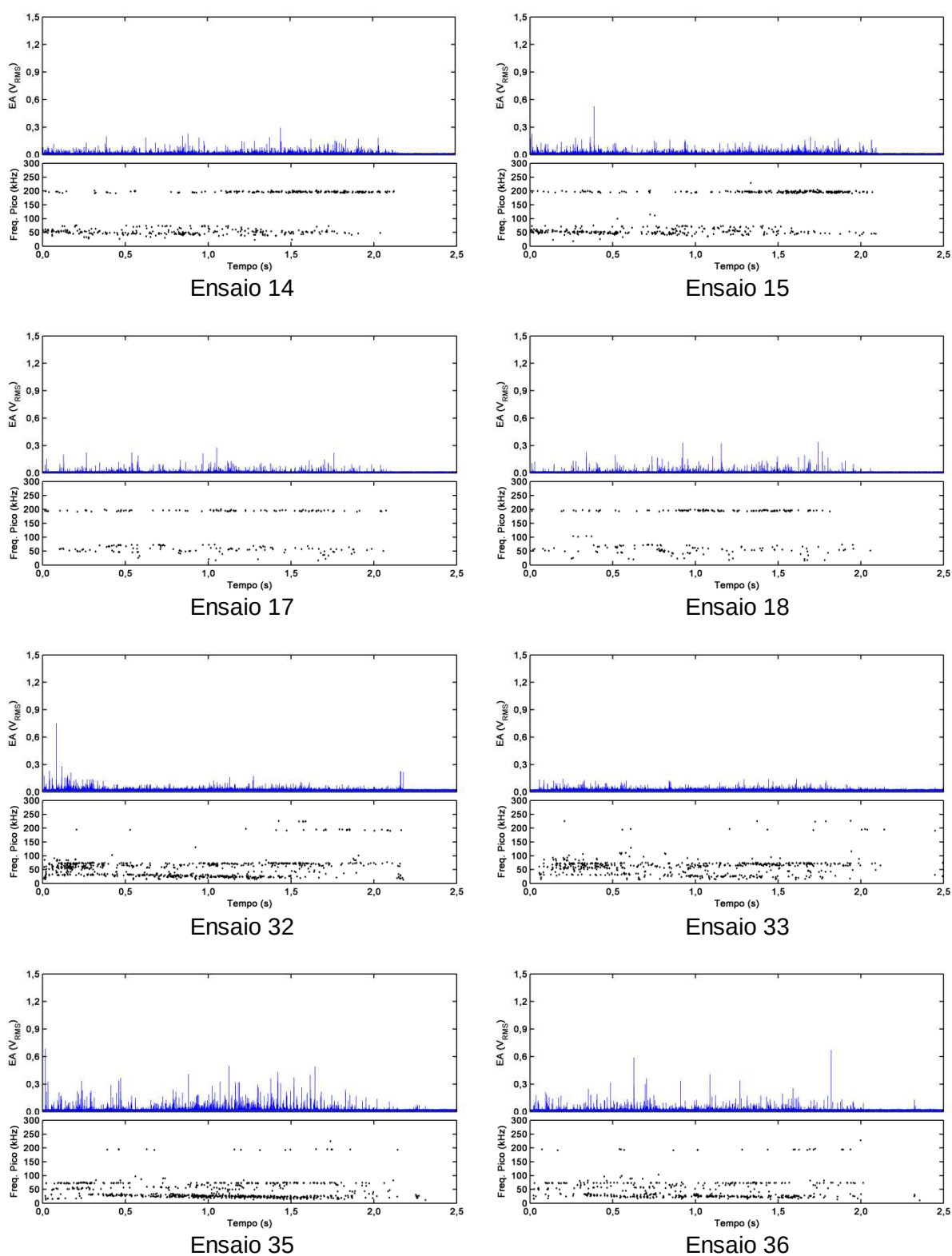


Figura 8.35 - Tensão RMS e frequências de pico da EA adquirida nos ensaios abrasivos 14, 15, 17, 18, 32, 33, 35, e 36. Corpos de PU, carga e granulometria do papel abrasivo, vide Tab. 3.2

Apêndice C - Ensaios de Deslizamento em Escala Reduzida

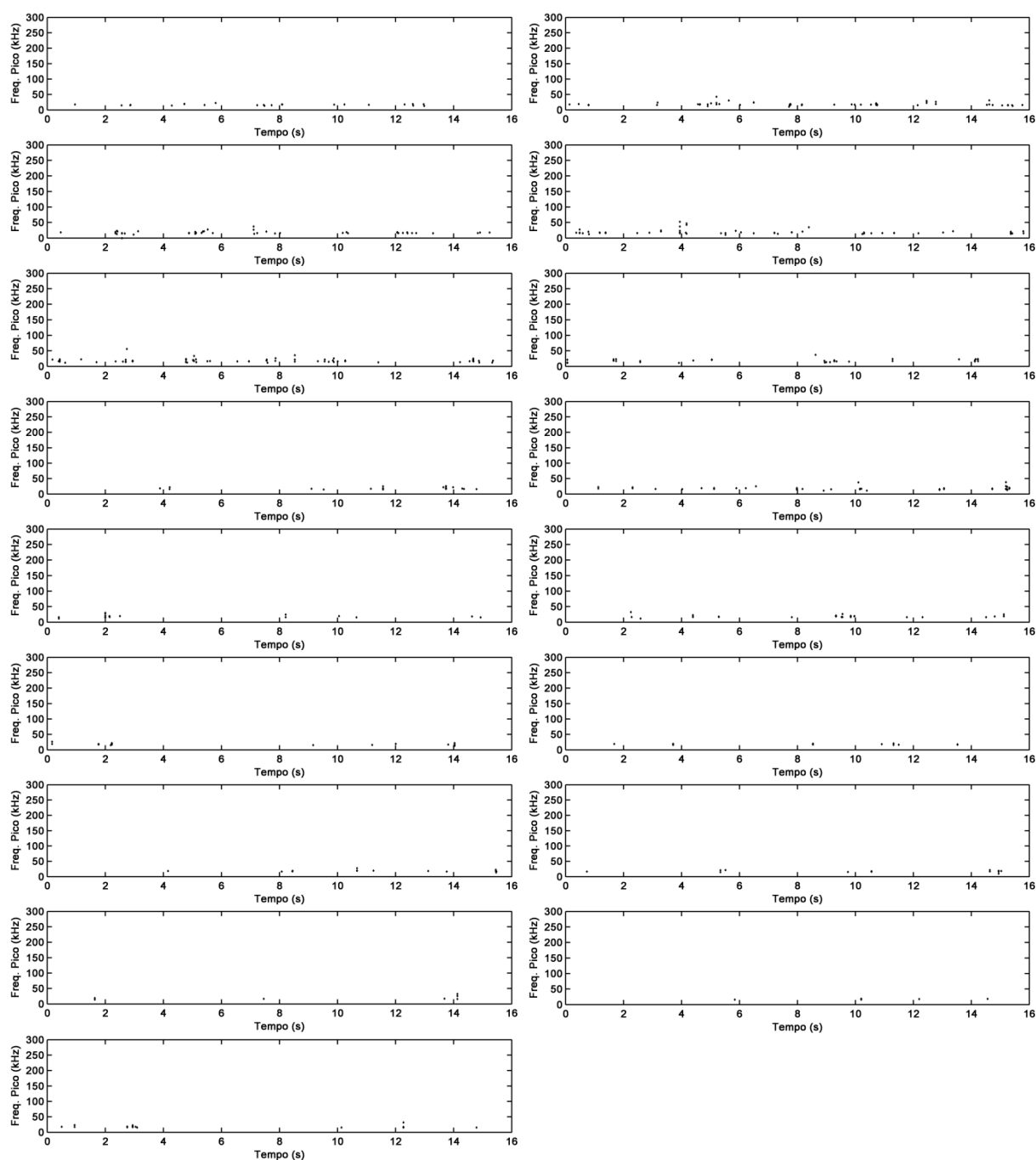


Figura 8.36 - Frequências de pico das aquisições 02, 03, 04, 05, 07, 08, 09, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 e 20 dos ensaios de deslizamento em escala reduzida

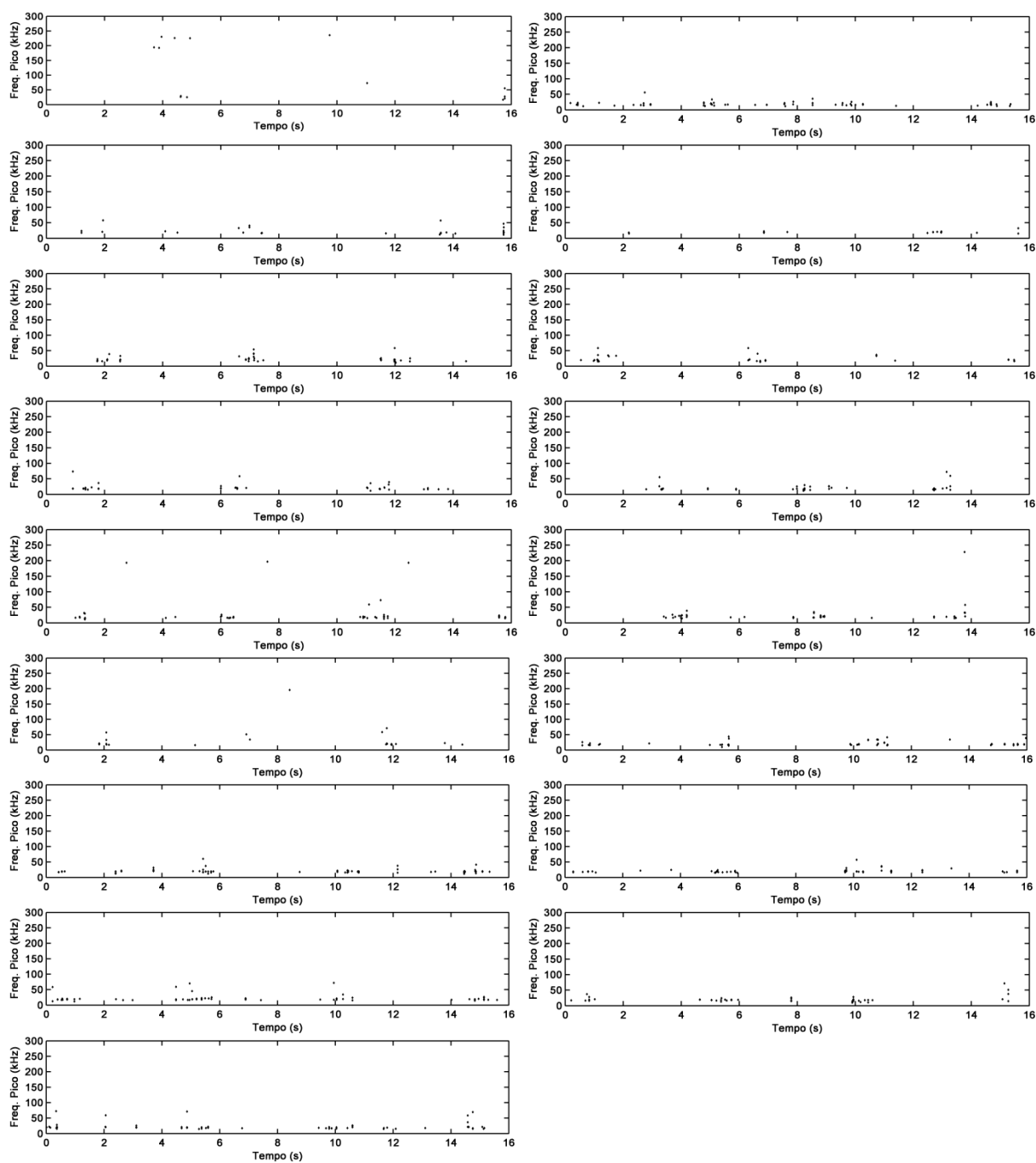


Figura 8.37 - Frequências de pico das aquisições 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40 e 41 dos ensaios de deslizamento em escala reduzida

Apêndice D - Ensaios em Escala Real

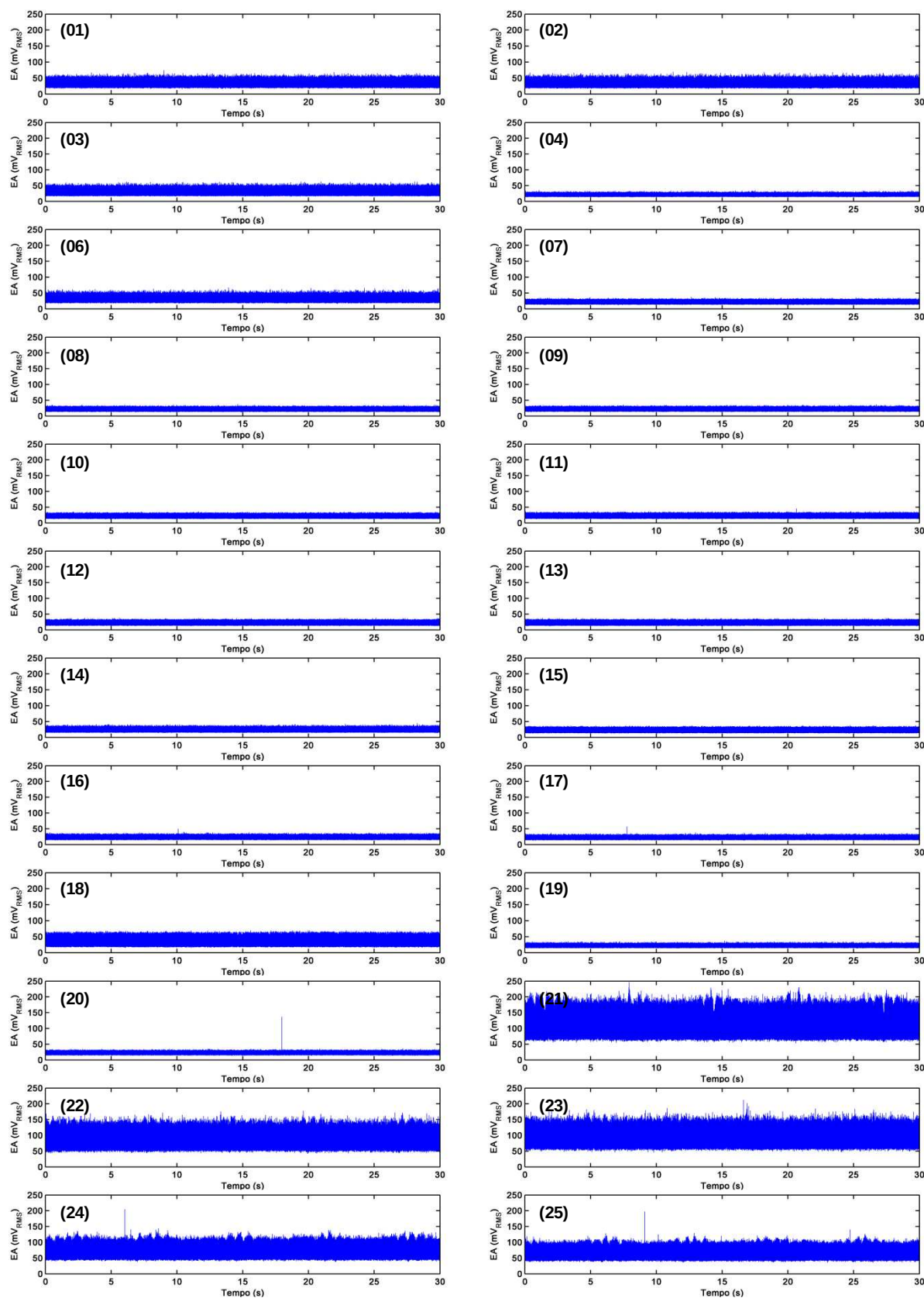


Figura 8.38 - Valor RMS da EA das aquisições 01 a 25 dos ensaios de deslizamento em escala real, com exceção da Aquisição 05, que não foi realizada

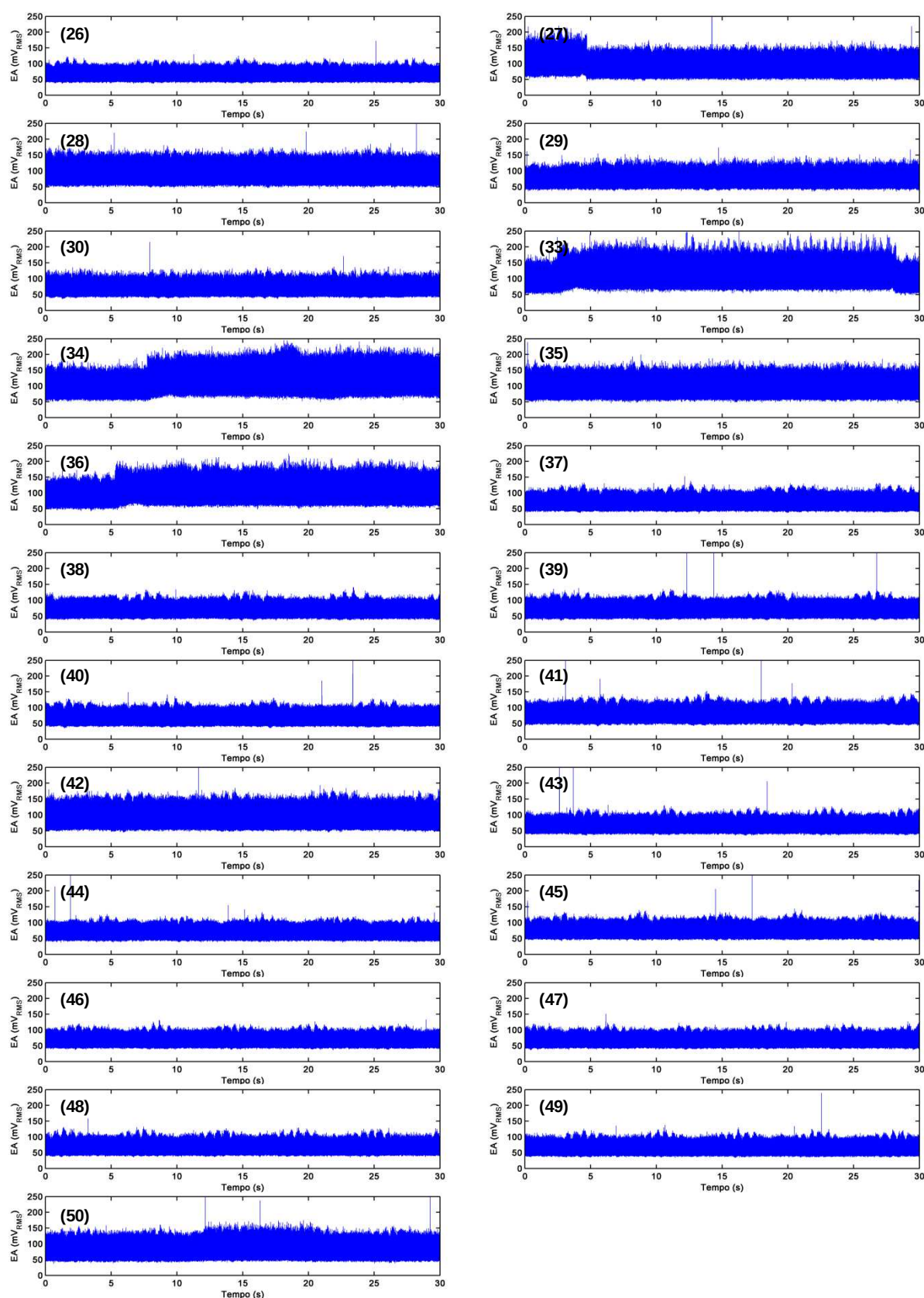


Figura 8.39 - Valor RMS da EA das aquisições 26 a 50 dos ensaios de deslizamento em escala real, com exceção das Aquisições 31 e 32, que não foram realizadas

CAPÍTULO IX

ANEXOS

Anexo A - Descritivo do sensor modelo Micro30

Anexo B - Descritivo do Sensor modelo ISPKWDIUC

Anexo C - Certificado de Calibração do sensor FE13 modelo Micro30

Anexo D - Certificado de Calibração do sensor FE14 modelo Micro30

Anexo E - Certificado de Calibração do sensor AA11 modelo ISPKWDIUC

Anexo F - Descritivo da Placa de Aquisição de Dados PCI-2

Anexo A - Descritivo do sensor modelo Micro30

Micro30 Sensor

Medium Frequency Miniature Sensor

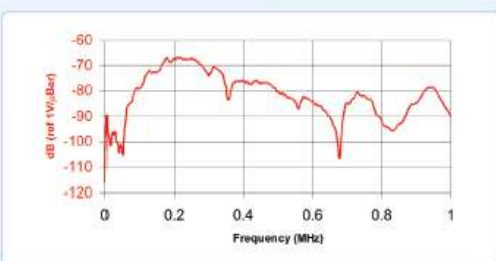
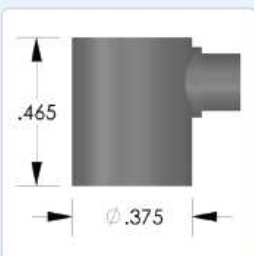


DESCRIPTION AND FEATURES

Micro30 sensor has a good frequency response over the range of 150 – 400 kHz. It has good sensitivity to AE signals even in presence of high background noise. Its small size and good bandwidth makes the sensor an ideal candidate for applications that have size and weight constraints on the sensors. The sensor features a small diameter, microdot connector exiting from the side of the sensor.

APPLICATIONS

The high sensitivity and bandwidth makes them ideal for structural health monitoring of critical structures like aircrafts, storage tanks etc. Typical applications include monitoring for fatigue and corrosion cracking in metals, delaminations and fiber breakage in composites. It can be mounted easily using epoxy.

**PRODUCT DATA SHEET**

OPERATING SPECIFICATIONS

Dynamic

Peak Sensitivity, Ref V/(m/s).....	65 dB
Peak Sensitivity, Ref V/ μ bar.....	-67.5 dB
Operating Frequency Range.....	150-400 KHz
Resonant Frequency, Ref V/(m/s).....	125 KHz
Resonant Frequency, Ref V/ μ bar.....	225 KHz
Directionality.....	+/-1.5 dB

Environmental

Temperature Range -65 to 177°C
Shock Limit 500 g
Completely enclosed crystal for RFI/EMI immunity

Physical

Dimensions.....	0.4" OD X 0.5" H
	10 mm OD X 12 mm H
Weight.....	5 grams
Case Material.....	Stainless steel
Face Material.....	Ceramic
Connector.....	Microdot
Connector Locations.....	Side

ORDERING INFORMATION AND ACCESSORIES

Micro30	Micro30
Cable (specify cable length in 'm')	1232-1
Preamplifier	0/2/4, 2/4/6
Preamp to System Cable (specify length in 'm')	1234-X
Amplifier Subsystems	AE2A, AE5A

Sensors include

NIST Calibration Certificate & Warranty

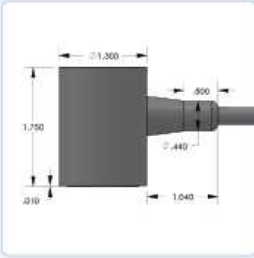


Anexo B - Descritivo do Sensor modelo ISPKWDIUC

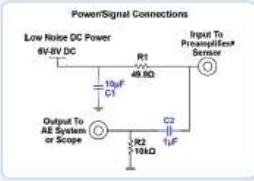
ISPKWDIUC Sensor

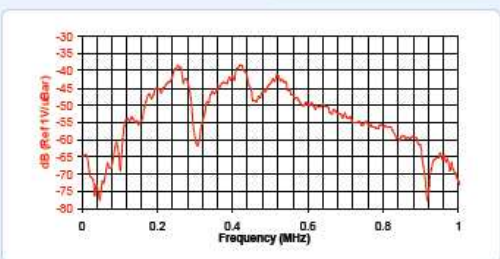
Intrinsically Safe Underwater Sensor





Power/Sigal Connections





DESCRIPTION AND FEATURES

The ISPKWDIUC is a wideband acoustic emission sensor with an integral cable. It is designed to meet the intrinsic safety (IS) requirements and can operate in underwater conditions. The sensor features a 26 dB low power, low noise preamplifier that can drive up to 200 meters of cable. The special polymer coatings on the sensor along with an integral waterproof cable make it 100% insulated and non-conductive. The sensor can be used to depths of 1000 psi.

APPLICATIONS

The sensor can be readily used for structural health monitoring in environments requiring intrinsic safety. It can be used for the monitoring of structures like pipelines, pressure vessels and storage tanks in petroleum refineries, chemical plants and offshore platforms.

PRODUCT DATA SHEET

OPERATING SPECIFICATIONS

Dynamic

Peak Sensitivity, Ref V/(m/s)	80 dB
Peak Sensitivity, Ref V/µbar	-38 dB
Operating Frequency Range	100-800 kHz
Resonant Frequency, Ref V/(m/s)	125 kHz
Resonant Frequency, Ref V/µbar	530 kHz
Directionality	+/-1.5 dB

Environmental

Temperature Range	-40 to 70°C
Shock Limit	500 g

Completely enclosed crystal for RFI/EMI immunity

Physical

Dimensions	1.31"OD X 1.75"H 33 mm OD X 45 mm H
Weight	98 grams
Case Material	Stainless Steel/Epoxy
Face Material	Ceramic
Connector	BNC on integral cable
Connector Locations	Side

Electrical

Gain	26 dB
Preamp DC power	5-7 V
Grounding	Isolated from mounting surface
Noise level at input	<3 µV
Preamplifier dynamic range	>87 dB
Preamplifier impedance	50 ohm

Certifications

II 1 G, Ex ia IIC T4

ORDERING INFORMATION AND ACCESSORIES

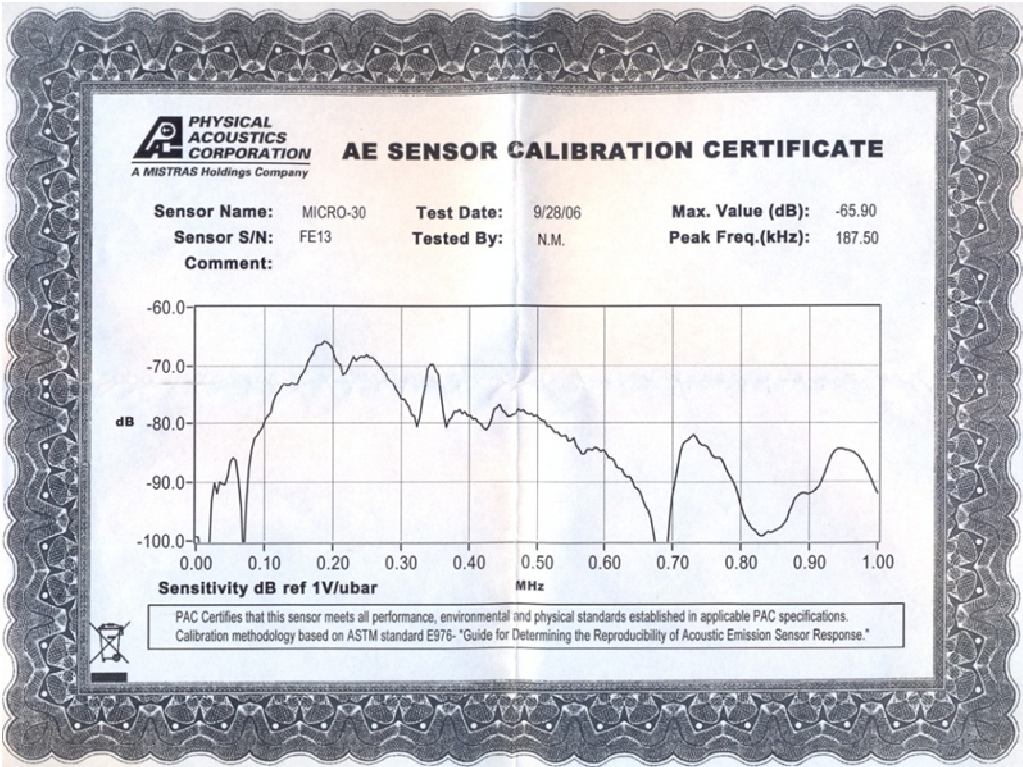
ISPKWDIUC	ISPKWDIUC
Cable (specify length in 'XX' m)	XX
IS Zener Barrier/Preamplifier Interface	1281

Sensors include

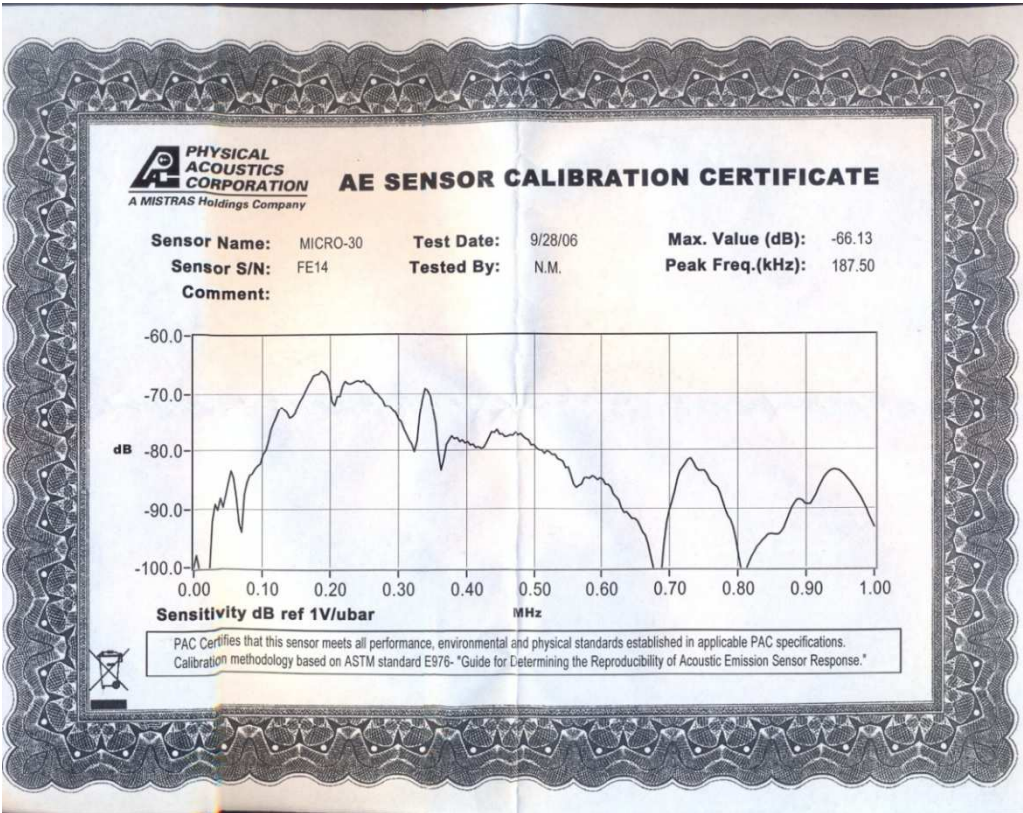
NIST Calibration Certificate & Warranty



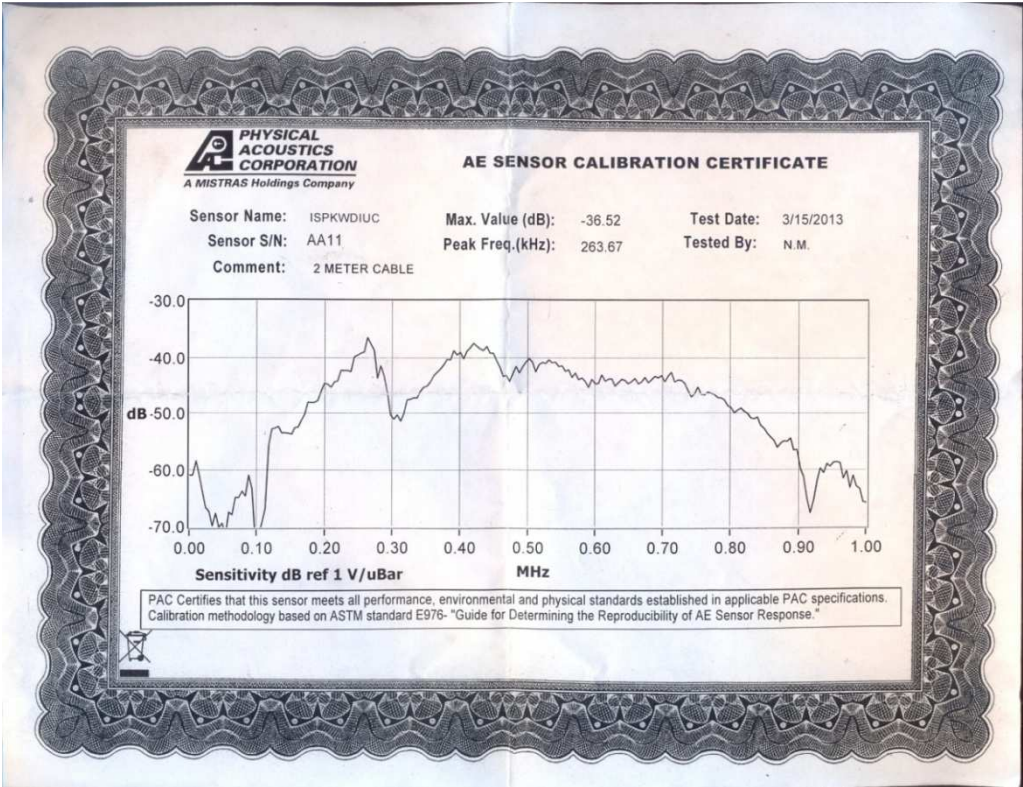
Anexo C - Certificado de Calibração do sensor FE13 modelo Micro30



Anexo D - Certificado de Calibração do sensor FE14 modelo Micro30



Anexo E - Certificado de Calibração do sensor AA11 modelo ISPKWDIUC

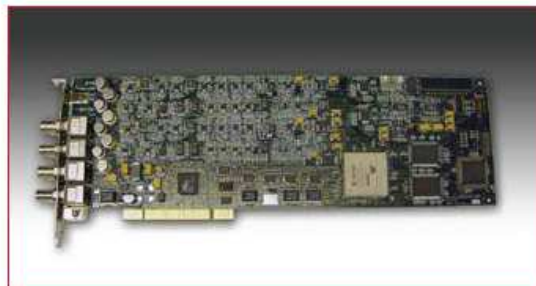


Anexo F - Descritivo da Placa de Aquisição de Dados PCI-2

EC-PCI2: Digital Eddy Current System on a PCI Card

In the first-of-a-kind scanning Eddy Current system developed for a U.S. Army project, Physical Acoustics Corporation now offers an Eddy Current system on a PCI card (EC-PCI2) that can be integrated with motion control to build automated EC/UT inspection systems. This new low cost system offers a high level of performance with digital signal processing for generating 48 bit Eddy Current measurements, at a rate of +40 MSPS.

The EC-PCI2 is low noise, low drift and will meet the needs of eddy current laboratories and will allow easy integration into small computer systems and automated Eddy Current systems for field testing.



Specifications:

Data Acquisition/Analysis Board

- Type: Full size PCI card
- Size: 13.415" x 4.20" x 0.70"
- Power Consumption: < 20 watts
- Interface: PCI bus mastering using PLX 9056 Interface chip
- Independent EC Channels: 2
- Simulation Frequencies: 4 per channel
- Bridge Impedance: 100 ohms

Excitation Waveform

- DAC: 14 bit, 40 MSPS
- Frequency Range: 100 Hz to 2 MHz, DDS controlled
- Excitation Amplitude: 100 mv to 10 Volts

Receiver

- ADC Digitizing: 14 bit, 40 MSPS ADC
- Bridge: Absolute, relative, reflective and calibration
- Bridge Offset: 16 bit DAC
- Instrument Amp Gain: x10 (20 dB)
- Filter Type: Bessel
- High Pass Filters: DC, 4 Hz, 20 Hz, 100 Hz
- Low Pass Filter: 100 kHz, 1 MHz, 5 MHz, bypass
- Digital Signal Processing: Dedicated feature extraction processors built from a 1 million gate FPGA

- ANSI/ISO/ASQ Q9001-2000 (Certificate No. US96/0561 by SGS)
- BS EN ISO 9001: 2000 (Certified in UK, No. 6022 by NQA)
- CE (Every instrument and sensor)
- Intrinsically Safe (BASEEFA, CENELEC, FM, DNV & CSA)

Key Features

- Provides two independent Eddy Current (EC) channels
- Offers full compatibility with standard industrial EC probes
- Measures conductivity and coating thickness
- Detects 0.5 mm EDM notches in steel, aluminum and titanium
- Generates an excitation signal (10 mv to 10 Volts) with integral digital waveform generator (100 Hz to 2 MHz)
- Allows fast, multi-frequency operation because the frequency can be changed on the fly (during measurement)
- Offers simultaneous multi-frequency measurement capabilities through frequency mixing
- Provides high-speed data transfer utilizing DMA and bus mastering
- Supplies improved signal-to-noise ratio of the excitation signal with selectable, analog smoothing filters (100 Hz to 2 MHz)
- Configurable input bridge circuit that can be programmed by software
- Delivers best possible sensitivity with ultra low noise analog front end EC receiver
- Performs real-time digital signal processing (not conventional analog) for all EC measurements via EC receiver
- Performs EC signal processing and feature extraction using 1 million gate FPGA
- User programmable arbitrary signal waveform allows experimenting with different excitation techniques (e.g. pulsed EC)