

## Medição de Emissões Acústicas Provenientes de Descargas Parciais em Sistema Ponta-Plano e Correlação com o Método Elétrico

André M. de Moraes\*, William M. de Assis\*, Marcus V. A. Nunes\*, Allan. R. A. Manito\*,  
Aécio de L. Oliveira\*\*, Luiz Fernando Freitas-Gutierrez\*\*, Ghendy Cardoso, Jr.\*\*, Cristian H. Correa\*\*\*, Erick F.  
Martins\*\*\*

\* Laboratório de Alta e Extra Alta Tensão – LEAT, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil (e-mail: andremmoraes@ufpa, william.assis@itec.ufpa.br, mvan@ufpa.br, allanmanito@ufpa.br)

\*\* Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil (e-mail: aecio.oliveira@ufsm.br, luiz.gutierrez@ufsm.br, ghendy@ufsm.br)

\*\*\* CPFL Transmissão, Porto Alegre, Brasil (cristianc@ceee.com.br, erick.martins@ceee.com.br).

---

**Abstract:** The evaluation of the operating condition of medium and high voltage equipment based on diagnosis of Partial Discharges (PDs), obtained from the measurement of ultrasonic acoustic emissions, has been the object of analysis of many works available in the technical literature. In this sense, this work presents a practical investigation of the occurrence of PDs, detected through acoustic and electrical methods, in a point-flat system subjected to different voltage levels, gaps and environmental conditions. This methodology is adopted to correlate the measured data with the acoustic (unconventional) and electrical (conventional) methods, in order to demonstrate the effectiveness of the former and contribute to obtaining diagnoses with high precision and reliability. The occurrence of PDs signatures, in the time domain for the acoustic and electrical methods, were obtained for the scenarios under analysis, both indicating, with good approximation, the incidence of the phenomenon. The analysis in the frequency domain of the results acquired with the acoustic method also corroborated the diagnosis of PDs in the evaluated scenarios.

**Resumo:** A avaliação da condição de operação de equipamentos de média e alta tensão com base no diagnóstico de Descargas Parciais (DPs), obtidos a partir da medição de emissões acústicas ultrassônicas, vem sendo objeto de pesquisa no Brasil e no exterior. Nesse sentido, este trabalho apresenta os resultados de uma investigação, em laboratório, de DPs detectadas por meio dos métodos acústico e elétrico, em um sistema ponta-plano submetido a diferentes níveis de tensão, espaçamento e condições ambientais. A metodologia apresentada neste artigo foi adotada de modo a favorecer a o estabelecimento de uma correlação entre os dados medidos com os métodos acústico (não convencional) e elétrico (convencional), a fim de demonstrar a efetividade do primeiro e contribuir para a obtenção de diagnósticos com elevada precisão e confiabilidade. As formas de onda de DPs, no domínio do tempo para os métodos acústico e elétrico, foram obtidas para os cenários sob análise, ambos indicando a existência do fenômeno com boa aproximação. Uma análise no domínio da frequência dos sinais adquiridos com o método acústico corroboraram também com os diagnósticos de DPs, para os cenários avaliados.

**Keywords:** Diagnosis; partial discharge; acoustic methods; electrical methods; point-flat system

**Palavras-chaves:** Diagnósticos; descargas parciais; método acústico; método elétrico; sistema ponta-plano

---

### 1. INTRODUÇÃO

As Descargas Parciais (DPs) correspondem a parâmetros utilizados, amplamente, para monitorar e emitir diagnóstico de degradação da isolação de equipamentos ou sistemas elétricos de forma preditiva. O avanço das pesquisas sobre o comportamento das DPs e a evolução tecnológica dos dispositivos empregados na sua detecção, tornaram a avaliação das DPs um dos parâmetros de medição mais utilizados em todo o mundo (IEC 60270. 2000). A ocorrência do fenômeno de DPs está associada ao aparecimento de diversos tipos de

ondas sonoras (emissões acústicas), ondas eletromagnéticas e sinais de corrente de alta frequência. Dessa forma, diferentes sensores e métodos podem ser utilizados para monitorar as DPs (El-Hag et al, 2017). Os métodos elétricos de detecção são largamente utilizados na indústria e em laboratórios de ensaios para a determinação de DPs em dispositivos submetidos à alta tensão. Entretanto, esses métodos não podem ser efetivamente utilizados em campo, devido à forte incidência de interferências eletromagnéticas existentes nas subestações e em razão da necessidade de executar os ensaios com o equipamento fora de serviço (Menon. 2001).

De modo a evitar a retirada de serviço do equipamento quando da necessidade de detectar e avaliar as DPs, metodologias não invasivas são sugeridas na literatura. Diferentes técnicas têm sido propostas, seja utilizando antenas de rádio frequência (RF), transformador de corrente de alta frequência (HFCT, do inglês *High-Frequency Current Transformer*) ou sensores de captação de ultrassom (El-Hag et al. 2017).

A detecção e análise das emissões acústicas provenientes das DPs obtidas por meio de sensores acústicos, o qual será o foco deste trabalho, tem se mostrado extremamente adequado ao que se deseja. Essa é importante quando se almeja avaliar as condições de operação de equipamentos de média e alta tensão, já que dispositivo a ser inspecionado ou suas partes não precisa ser desligado ou removido do local onde está instalado (Grossmann & Feser. 2005).

A detecção e classificação das DPs a partir de sinais aquiridos por sensores acústicos, vem sendo analisada em sistemas de menor complexidade. Em Hausmann (2019) medições acústicas foram realizadas, tendo como base um sistema ponta-plano para obtenção de DPs e sendo avaliado sob diferentes potenciais elétricos (em regime de corrente contínua), espaçamentos e condições ambientais (limpo, poluído com solução salina e poluído com camada sólida condutiva). Pihera et al. (2020) e Suwanasri et al. (2021) analisaram as emissões acústicas provocadas por DPs em arranjos de menor complexidade, comparando os resultados obtidos com o método elétrico de detecção de DPs.

Este trabalho analisa os dados obtidos em ensaios elétricos, realizados no Laboratório de Alta e Extra Alta Tensão (LEAT) da Universidade Federal do Pará (UFPA), utilizando os métodos de medição acústica e elétrico para avaliação da existência de DPs. As medições foram realizadas em um arranjo ponta-plano, sendo aquiridos os sinais de DPs para quatro cenários estabelecidos com base no espaçamento entre o arranjo ponta-plano, na condição ambiental do arranjo, no nível de tensão alternada e na distância de medição da Ponta de Prova Ultrassônica (PPU). Importantes constatações relacionadas com os fenômenos físicos das descargas foram obtidas. Foram correlacionadas, no domínio do tempo e da frequência, as formas de onda das DPs obtidas com base nos métodos elétrico e acústico, sendo ainda realizada uma análise no domínio da frequência para os sinais acústicos.

## 2. METODOLOGIA, DETECÇÃO E MÉTODOS DE ANÁLISE

A Fig. 1 apresenta a metodologia geral utilizada neste trabalho. Partindo da definição do problema, o qual tem a premissa de identificar as assinaturas de sinais de DPs por meio do método acústico, dispõem-se dos arranjos e cenários a serem ensaiados, com alta tensão aplicada, em um sistema ponta-plano. Em seguida, são empregadas as metodologias de medição de DPs utilizando uma PPU e um sistema para detecção de DPs com base no método elétrico. Por fim, uma vez obtidos os resultados, implementa-se uma rotina computacional para favorecer as análises e correlações entre os métodos no domínio do tempo e auxiliar na compreensão

dos resultados obtidos com o método acústico no domínio da frequência.

A seguir, algumas subseções são apresentadas, detalhando as formas de detecção e métodos de análise empregados.

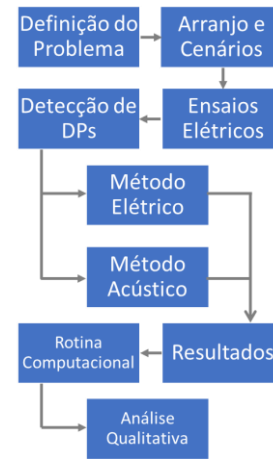


Fig. 1 Fluxograma com a metodologia geral do trabalho.

### 2.1. Metodologia de Detecção – Emissão Acústica

Os ensaios de medição acústica realizados no LEAT estão de acordo com o procedimento apresentado na Fig. 2, descrito em detalhes a seguir.

O procedimento consiste no ensaio gerenciado pelo sistema de controle (1), o qual aciona um regulador e um transformador de excitação, representado por (2), para que esse carregue a fonte série-ressonante (3). Então, segue-se a aplicação da tensão nos terminais do Objeto Sob Ensaio (OSE) (4). A ponta de prova de medição ultrassônica (6) apontada para o OSE viabiliza a medição das emissões acústicas; e o divisor de tensão capacitivo (5) mede a queda de tensão nos terminais do objeto sob ensaio. Todos os dados medidos são aquiridos pelo osciloscópio (7) e, a partir disso, é extraído um arquivo com extensão “.csv”, enviado para uma rotina computacional, executada no o Matlab (8). Com isso, possibilitam-se análises no domínio do tempo e da frequência a partir dos dados obtidos em cada ensaio.

A PPU utilizada para realizar detecção de corona através da medição acústica foi a pistola de ultrassom Ultraprobe 2000 do fabricante UE systems. O Ultraprobe 2000 é um equipamento de detecção de ruído ultrassônico que opera pelo princípio de batimento entre as frequências do sinal captado com a frequência de um oscilador interno. A frequência desse oscilador pode ser variada, de forma a se obter um sinal na faixa audível como resultado, pois a única saída de dados é um conector para o auscultador. A PPU tem capacidade de capturar sinais com frequências de até 100 kHz (Vieira. 2008). Dessa forma os sinais aquiridos pela PPU são enviados para o sistema de medição (osciloscópio) com frequências na faixa audível, por conta da conversão em frequência chamada heterodinagem. O diagrama de blocos dessa conversão é mostrado na Fig 3.

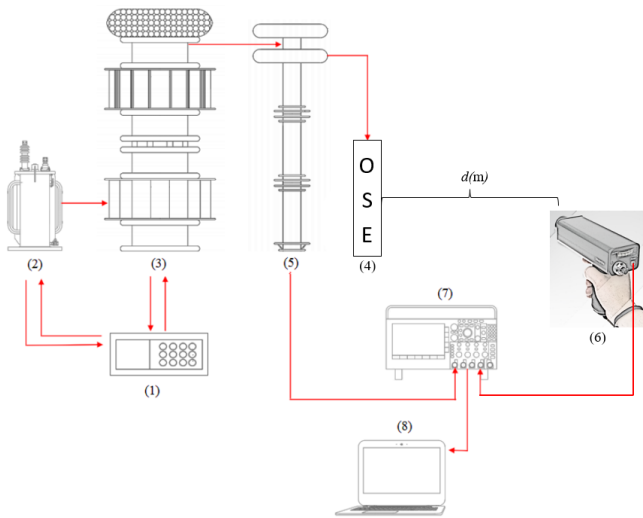


Fig. 2 Estrutura metodológica dos ensaios realizados com o método acústico.

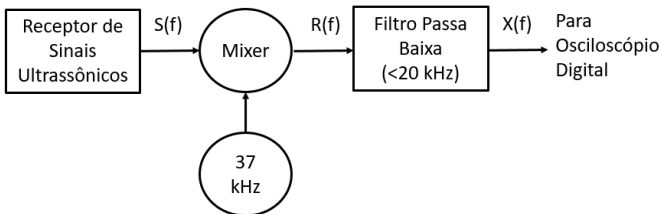


Fig. 3 Diagrama de blocos do processamento de sinais do detector ultrassônico (adaptado de Vieira, 2008).

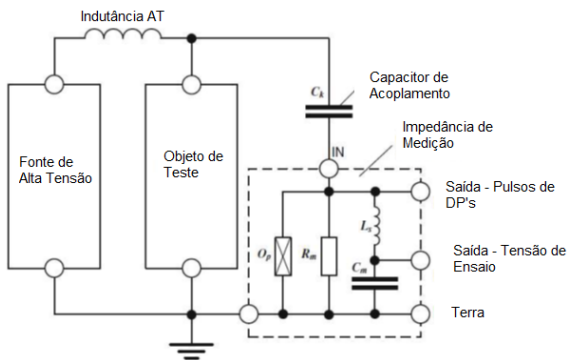


Fig. 4 Circuito de medição de DPs usando um capacitor de acoplamento em série com impedância de medição (adaptado de Lemke et al. 2008).

## 2.2. Metodologia de Detecção – Método Elétrico

A medição de DPs pelo método elétrico ocorre com base na medição do fluxo de elétrons e íons ao longo de uma distância em um período, em que uma pequena corrente elétrica flui ao longo do objeto em teste toda vez que ocorre uma DP. A corrente total será governada pelo transporte de certo número de cargas medidas em picocoulomb (pC). Um dos meios de detectar essa descarga se baseia da medição da tensão que acompanha o pulso ou o pulso de corrente resultante

propriamente dito. Essas quantidades são medidas em circuitos remotos às descargas (Lemke et al. 2008).

No LEAT o sistema de medição remoto é o DDX9121b do fabricante Tettex, onde os sinais de DPs são mostrados em pC. Um diagrama do circuito de medição de DPs pelo método elétrico é mostrado na Fig 4.

## 2.3. Sistema Ponta-Plano

O sistema ponta-plano é um arranjo composto por um suporte metálico e dois isoladores utilizados para sustentar um eletrodo tipo haste metálica e um eletrodo tipo disco metálico conforme as Figs. 5 e 6.

Para facilitar o estudo das DPs, pesquisadores desenvolveram formas de gerá-las de maneira segura e controlada, no intuito de compreender melhor esse fenômeno e suas causas em um equipamento com defeito (Froes et al. 2021). O arranjo é utilizado especialmente para geração de DPs por meio do acúmulo de campo elétrico na ponta da haste metálica.

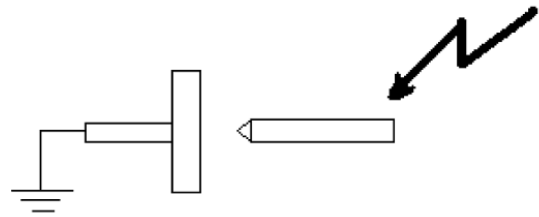


Fig. 5 Ilustração do arranjo ponta-plano.



Fig. 6 Arranjo do ensaio realizado no sistema ponta-plano

Foram realizados ensaios com 8 mm e 15 mm de espaçamento entre ponta e plano. Com essas configurações, foram realizadas medições de DPs pelo método acústico com a PPU Ultraprobe 2000 (conforme Fig. 2) e pelo método elétrico com o DDX9121b. Ressalta-se que a presente metodologia foi

retirada, em parte, dos ensaios informados em Hausmann (2019) que utilizou os espaçamentos de 4 mm e 6 mm e uma fonte de tensão contínua. Contudo, outras distâncias entre a ponta e o plano foram necessárias, tendo em vista que neste trabalho empregou-se uma fonte de tensão alternada, e, constatou-se que espaçamentos inferiores a 8 mm, não permitiram o ajuste de tensão na condição ambiental de poluição, ocorrendo interrupção no sistema para tensões inferiores a 7 kV. Assim, haveria dificuldade para o ajuste do nível de tensão no ensaio e comprometeria a comparação entre os arranjos. Os cenários dos ensaios elétricos, em alta tensão, não normalizados, realizados no LEAT/UFPA são mostrados na Tab. 1.

Além da medição dos parâmetros com o sistema limpo, foram realizadas também as medições com aplicação de tensão no sistema ponta-plano com poluição salina. A poluição foi produzida a partir da adição de cloreto de sódio em um recipiente de água destilada. Com a condutividade controlada, foi borrifada a solução salina no arranjo ponta-plano, conforme ilustra a Fig. 7.

**Tabela 1 – Cenários de medição acústica.**

	Espaçamento (mm)	Tensão Aplicada (kV)	Condição Ambiental
Cenário I	8	7	Limpo
Cenário II	8	7	Poluição Salina
Cenário III	15	7,5	Limpo
Cenário IV	15	7,5	Poluição Salina



Fig. 7 Sistema ponta-plano com poluição salina.

As medições de DPs pelo método acústico foram realizadas em quatro pontos diferentes de posicionamento da PPU em cada cenário, para verificação da influência da distância de medição nos sinais de descarga. As distâncias escolhidas foram de 5 m, 4 m, 3 m e 2 m. Todavia, distâncias superiores a 5 m poderiam ser utilizadas, tendo em vista que, com base especificações técnicas da PPU utilizada, medições até 15 m.

#### 2.4. Metodologia de Aquisição e Análise dos Dados

Para aquisição dos dados da medição acústica, utilizou-se o osciloscópio modelo MDO-3034 do fabricante Tektronix. A janela de medição foi estabelecida em 4 s, com uma taxa de amostragem igual a 250 kHz.

Os sinais adquiridos pelos instrumentos de medição, foram processados no Matlab (versão R2018a) por meio da importação de um arquivo “.csv”. Com a PPU foram realizadas algumas medições e a partir dos cabos que foram confeccionados com conector P2 mono, foi possível realizar a aquisição dos sinais em um osciloscópio. Foram realizadas a análise no domínio do tempo, bem como sua Transformada Rápida de Fourier (FFT) e análise no domínio da frequência. Também foram realizadas gravações de ruídos de fundo do laboratório para análise dos dados de saída e verificação de possíveis sobreposições com os sinais de DPs.

### 3. RESULTADOS DOS ENSAIOS LABORATORIAIS

Com base nos ensaios elétricos descritos no item 2.3 e as medições pelos métodos acústico e elétrico, foram realizadas análises, qualitativas, no domínio do tempo e no domínio da frequência. Na sequência, essas análises são detalhadas.

#### 3.1. Análise das Emissões Acústicas de DPs e Correlação com o Método Elétrico no Domínio do Tempo

As Figs. 8 e 9, apresentam o sinal de tensão na saída do divisor de tensão do sistema ressonante e o sinal de tensão medido pelo osciloscópio na saída de áudio da PPU, ambos no domínio do tempo. Para uma melhor compreensão e apresentação dos resultados, uma janela de tempo de 50 ms foi escolhida a partir dos dados do arquivo de medição obtidos para os cenários sob análise. Isso tem o intuito de observar o comportamento dos pulsos em alguns ciclos da tensão aplicada.

Os dados obtidos para o Cenário I são apresentados nos gráficos da Fig. 8. Observa-se concordância com os fenômenos físicos relativos à ocorrência de DPs, do tipo corona, e a emissão de ondas acústicas longitudinais (Halliday, 2014). Destaca-se a ocorrência e periodicidade dos pulsos, além da redução da intensidade destes em conformidade com a distância da fonte. Ainda concernente à Fig. 8, nota-se que a ocorrência dos pulsos se dá em fases distintas do sinal de tensão medido a partir do divisor de tensão capacitivo do sistema ressonante do LEAT. Isto se deve ao fato de a onda acústica sensibilizar a PPU com um certo atraso quando comparado ao sinal elétrico, em virtude da velocidade do som

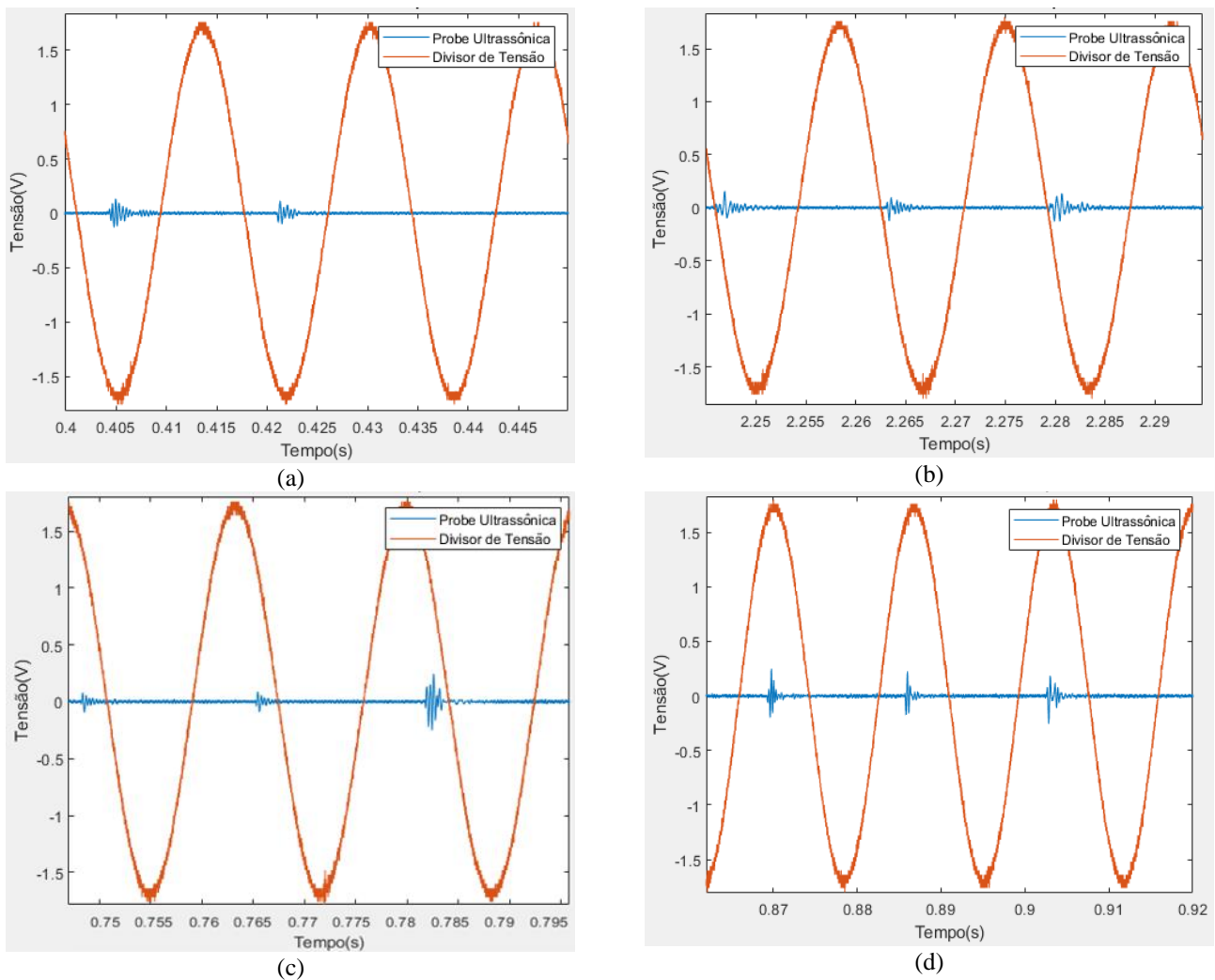


Fig. 8 Recorte de 50 ms dos dados da medição acústica para o Cenário I considerando os 4 pontos de medição estabelecidos na metodologia. (a) PPU posicionada 5 m. (b) PPU posicionada 4 m. (c) PPU posicionada 3 m. (d) PPU posicionada 2 m.

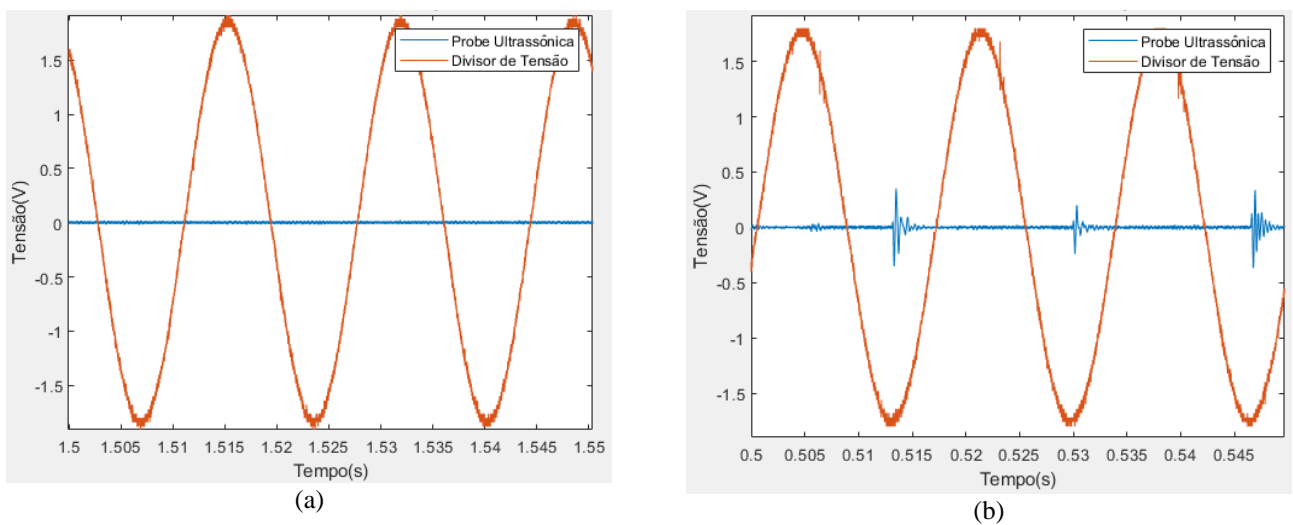


Fig. 9 Recorte de 50 ms dos dados da medição acústica para os Cenário III e IV considerando a PPU posicionada à 2 m do centro do sistema ponta-plano. (a) Cenário III. (b) Cenário IV.

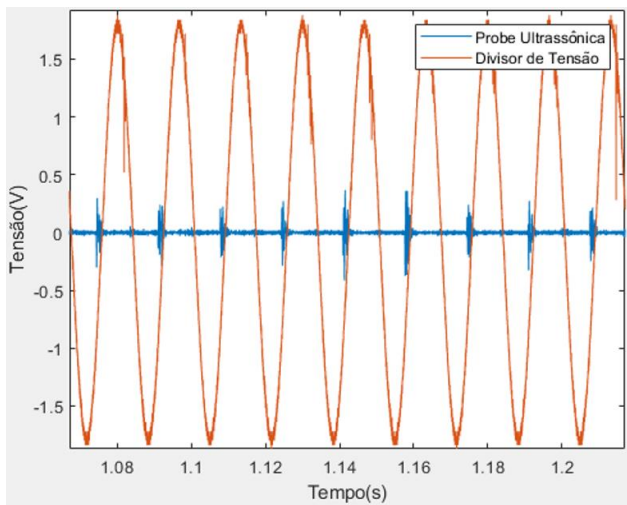


Fig. 10 Recorte de 150 ms dos dados da medição acústica para o Cenário IV.

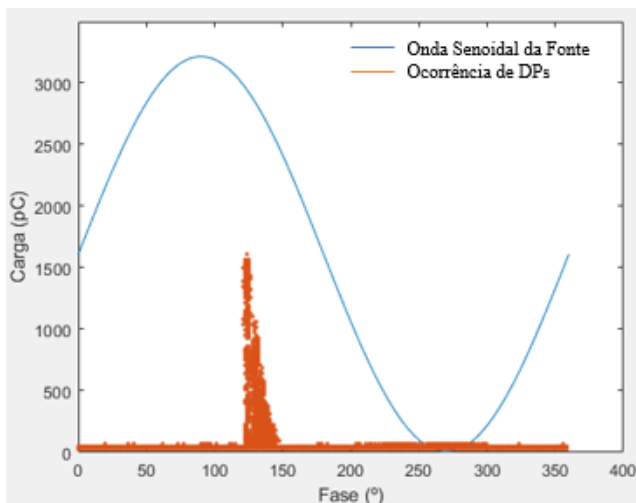


Fig. 11 DPs medidas com o método elétrico, registradas na fase do sinal de tensão aplicado, no intervalo de 10 s.

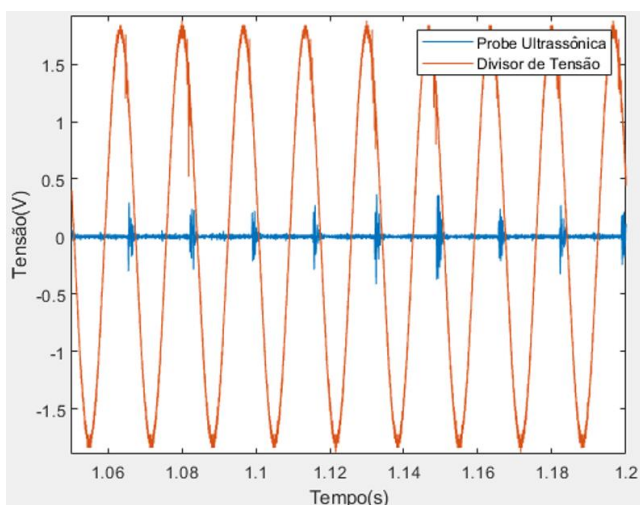


Fig. 12 Recorte de 150 ms dos dados da medição acústica após tratamento considerando o atraso da onda.

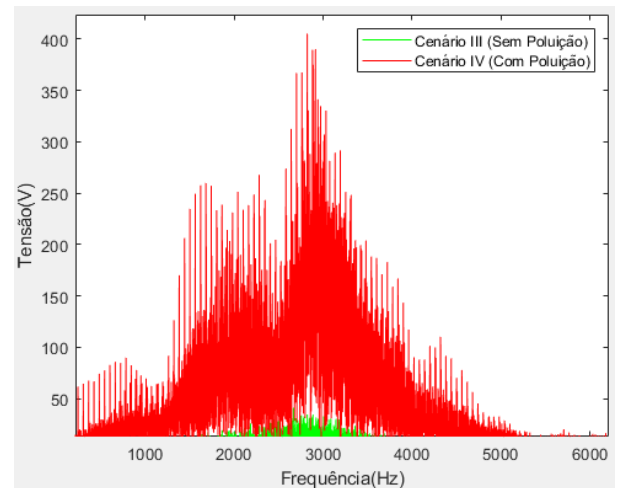


Fig. 13 Comparação dos espectros de frequência obtidos para os cenários III e IV, com o medidor a 2 m do OSE.

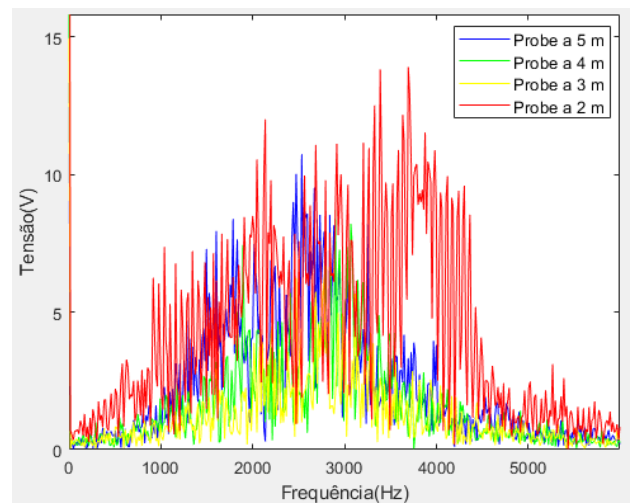


Fig. 14 Comparação dos espectros de frequência obtidos para o Cenário I nos quatro pontos de medição escolhidos.

no ar, à 20 °C, ser de 343 m/s (Halliday. 2014) e do sinal elétrico ser, aproximadamente, igual a velocidade da luz ( $3 \times 10^8$  m/s) como indica Sadiku (2012).

Os gráficos apresentados na Fig. 9 mostram os resultados que auxiliam na compreensão da influência da poluição salina, depositada na superfície do sistema ponta-plano, na ocorrência de DPs, tipo corona. Conforme especificado nos Cenários III e IV e considerando o posicionamento do sensor ultrassônico a aproximadamente 2 m do centro do sistema ponta-plano, não se observa pulsos característicos de DPs no sinal aquisitado na Fig. 9a. Contudo, ao se aplicar a solução salina no sistema (ver Fig. 6), constata-se uma atividade de DPs significativa representada pelos pulsos, periódicos, os quais se verificam na Fig. 9b. Em termos físicos, a situação descrita era esperada tendo em vista que a disponibilização de íons e conseqüentemente elétrons livres por parte da solução salina, quando da aplicação do potencial elétrico, é maior do que a observada no ar para um mesmo nível de tensão.

Visando demonstrar a correlação existente entre a detecção de DPs, por meio dos métodos de emissão acústica e elétrico, as Figs. 10 a 12 são apresentadas. Na Fig. 10 é possível observar que os pulsos verificados estariam ocorrendo no semiciclo negativo da onda, em contraste com a Fig. 11 na qual se observa a predominância de DPs no semiciclo positivo. Porém, como já relatado e para uma análise acurada, é importante destacar que os dados obtidos no divisor de tensão podem ter o atraso desprezado. Entretanto, o mesmo não poderá ser admitido para os dados capturados com o medidor ultrassônico, uma vez que o atraso da velocidade do som deverá ser levado em consideração. Assim, a Fig. 12 apresenta o sinal ultrassônico descontando o atraso da propagação da onda mecânica, por meio da retirada das amostras iniciais do sinal (até o tempo calculado para a chegada do sinal no sensor). Na figura em questão, é possível correlacionar as DPs nos dois métodos, visto que ambos retratam a incidência de DPs em regiões da fase do sinal de tensão da fonte com uma aproximação bastante relevante.

### 3.2. Análise das Emissões Acústicas de DPs no Domínio da Frequência

Conforme abordado na Seção 2.4, a partir da rotina computacional disponível em (Hausmann. 2019), foi possível obter a FFT dos sinais medidos no domínio do tempo para os Cenários III e IV.

A Fig. 13 apresenta um comparativo entre os espectros de frequência, extraídos dos sinais medidos a 2 m de distância do arranjo estabelecido nos Cenários III e IV. Devido ao processo de heterodinagem embarcado na PPU (ver Seção 2.1), nota-se que as frequências com maior contribuição ao sinal acústico foram deslocadas da faixa ultrassônica para o espectro audível, conforme era esperado, uma vez que a saída da PPU foi projetada para ser interligada a um auscultador. Observa-se, do ponto de vista qualitativo, a visível diferença existente entre os espectros dos Cenários III e IV. A aplicação da poluição salina implica em diversas bandas de ressonância, com destaque para as frequências em torno de 3 kHz.

Na Fig. 14 foi reduzido o número de pontos da FFT almejando a obtenção de um gráfico que facilitasse a compreensão do espectro envolvendo a análise das quatro medições, aplicadas ao Cenário I. Destaca-se a diminuição significativa da contribuição das frequências mais elevadas à medida que o sensor é posicionado mais distante da fonte de emissão acústica. Isso se deve ao fato de quanto maior a frequência maior a agitação das moléculas de ar, resultando na dissipação da energia das ondas de frequências mais elevadas em uma menor distância de propagação.

## 4. CONCLUSÕES

Este trabalho visou correlacionar os resultados de medição de DPs por meio dos métodos acústico e elétrico em um arranjo ponta-plano montado em laboratório de alta tensão. Com base nas análises realizadas, a utilização do método acústico de medição é uma ferramenta alternativa para medição de DPs em

laboratório quando elas são provenientes da intensificação de campo elétrico e ionização do ar na superfície de equipamentos (efeito corona). A medição acústica permitiu observar que os sinais adquiridos nas frequências estudadas são quase que em sua totalidade proveniente das DPs do tipo corona advindas da superfície do OSE;

Evidenciou-se que a diferença de fase dos pontos de descargas presentes na Fig. 11 em relação aos dados de medição acústica (Fig. 10) pode ocorrer devido ao atraso da propagação da onda sonora no ar.

Ficou constatado, experimentalmente, que a poluição salina depositada na superfície do sistema ponta-plano provoca um aumento na atividade de DPs para o nível de tensão estudado. Isso pode estar relacionado como aumento da concentração de elétron livres na região de intensificação de campo elétrico, diminuindo o valor do campo elétrico para início do fenômeno de corona.

Pôde-se estabelecer uma relação entre a amplitude dos sinais de DPs adquiridos pelo método acústico e a distância de medição. Essa informação pode ser utilizada para medições de descargas superficiais do tipo corona em equipamentos do sistema elétrico, de forma a conseguir medições mais seguras e com boa acurácia.

A análise em frequência mostra-se como uma importante ferramenta para analisar assinaturas dos sinais de DPs. Porém um medidor ultrassônico sem a conversão de frequência para o espectro audível é necessário.

Diante do exposto, verifica-se que a metodologia pode ser adaptada para inspeção de equipamentos do sistema elétrico. Outros arranjos podem ser utilizados no sentido de construir um banco de dados maior, de modo a garantir uma melhor acurácia das correlações obtidas. Com isso, trabalhos futuros poderiam ser realizados com métodos de mineração de dados e inteligência computacional para diagnosticar e classificar falhas em equipamentos, com base em medições de DPs usando o método acústico.

## 5. AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao Programa de Pesquisa e Desenvolvimento do Setor Elétrico através do projeto PD-05785-2107/2021 – DE2107: “Desenvolvimento de metodologia para avaliação da degradação da isolação de transformadores de instrumentos e para-raios energizados por meio da medição ultrassônica de descargas parciais.”, regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, em parceria com a CPFL Transmissão e à Eletronorte, na figura do Dr. Eng. Fernando Brasil, pelo empréstimo da ponta de prova ultrassônica para a realização dos ensaios no LEAT.

## 6. REFERÊNCIAS

Bulhões Froes, F. et al. (2021). Desenvolvimento de uma célula aplicada à geração de descargas parciais a partir de uma fonte de baixa tensão. 2021.

Cattareeya Suwanasri, W. K. T., Panmala, N., Rungsivattagapong, S., Atiwet, N. e Poonpoch, P. (2021) *Partial Discharge Investigation and Failure Analysis on Distribution Network Using Acoustic Camera*, 9th International Electrical Engineering Congress (iEECON), pp. 181-184, doi: 10.1109/iEECON51072.2021.9440301.

De Barros Vieira, G. Â. (2008). Estudo da viabilidade de utilização da técnica de ultrassom associada ao processamento digital de sinais para detecção da ocorrência de pontos quentes em equipamentos elétricos de alta tensão (Tese de Doutorado, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca).

Eberhard Lemke et al. (2008). Guide for Electrical Partial Discharge Measurements on Compliance to IEC 60270. *Electra*, n. 241, p. 61–67, 2008.

El-Hag, A., Mukhopadhyay, S., Al-Ali, K. e Al-Saleh, A. (2017). *An intelligent system for acoustic inspection of outdoor insulators*. 3ª Conferência Internacional Sobre Técnicas de Avaliação da Condição de Operação de Equipamentos do Sistema Elétrico.

Grossmann, E.; Feser, K. (2005). *Sensitive online PD-measurements of onsite oil/paper-insulated devices by means of optimized Acoustic Emission Techniques (AET)*. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 20, n. 1, p. 158–162.

Halliday, D., Resnick, R., & Krane, K. S. (2014). Física 3 (Vol. 3). LTC.

Hausmann, V. (2019). Interpretação gráfica de descargas parciais através da análise de sinais de ultrassom.

IE Commission. (2000). "IEC 60270 High-voltage test techniques-Partial discharge measurements, 3ª Edição, Geneva, Suíça.

Menon, R., Kolambekar, S., Buch, N. J. e Ramamoorthy, M. (2001). *Correlation of Acoustic Emission Method and Electrical Method for Detection of Partial Discharges in Transformers*. 7ª Conferência Internacional sobre Dielétricos Sólidos. Holanda.

Pihera, J., Hornak, J., Trnka, P., Turecek, O., Zuzjak, L., Saksela, K., Nyberg, J. e Albrecht, R. (2020). *Partial discharge detection using acoustic camera*. 3rd International Conference on Dielectrics (ICD).

Sadiku, M. N. O. (2012). Elementos de Eletromagnetismo. 5ª Ed. Porto Alegre, Brasil, Bookman.