

## ESTUDO DE TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE SINAIS DE RADIOINTERFERÊNCIA APLICADOS A ISOLADORES DE ALTA TENSÃO

*Diego Cristiano Pitombeira Braga*

*Fágner Roberto de Lima Silva*

*Antonio Ricardo Zaninelli Nascimento*

*Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas*

**Resumo:** *Isoladores são dispositivos utilizados para isolar as linhas de transmissão. Muitas vezes estes são afetados por poluentes, tais como sujeira, maresia, poeira, etc. Quando introduzidos em uma linha de transmissão, estes emitem sinais eletromagnéticos. Este trabalho tem como finalidade estudar os sinais de radiointerferência emitidos, analisando-os e as suas principais funções para futuro processamento. Foi verificado que os sinais são aleatórios e contínuos no domínio da frequência e que estes podem ser processados em técnicas matemáticas e computacionais, para que possam ser analisados, comparando o sinal de radiointerferência emitido por um isolador defeituoso e um em condições normais de uso.*

**Palavras-Chave:** *Isoladores de Alta Tensão. Variáveis Aleatórias. Sinais de Radiointerferência.*

**Abstract:** *Insulators are devices used to isolate the transmission lines. Often these are affected by pollutants such as dirt, salt spray, dust, etc. When introduced into a transmission line, they emit electromagnetic signals. This work aims to study the radio signals emitted by analyzing them and their main functions for further processing. It was found that the signals are random and continuous in the frequency domain and that these can be processed in mathematical and computational techniques, that can be analyzed by comparing the radio frequency signal emitted by an insulator and a defective under normal use.*

**Keywords:** *High Voltage Insulators. Random Variables. Radio Frequency Signals.*

### INTRODUÇÃO

Isoladores são dispositivos utilizados para isolar as linhas de transmissão. O isolador deve apresentar, além de apreciáveis características dielétricas, ótimas características mecânicas, tendo em vista a natureza severa do trabalho que irá realizar. Ele deve suportar altas tensões de compressão, deve ser duro e apresentar a superfície altamente polida. Seu desenho deverá ser tal que minimize a acumulação de linhas de fluxo eletrostáticas, o que não permitirá o rompimento de arcos elétricos na sua superfície. Seu desempenho eletromecânico deve-se manter estável em quaisquer condições de umidade, temperatura, chuva, neve, poeira, gases, etc. Os isoladores são mais comumente fabricados através de vidro, polímeros e porcelana.

Durante a vida útil do isolador, há um acúmulo de sujeira e poluição, sendo estes os principais problemas deste dispositivo, provocando corrosão até o não

funcionamento do mesmo (BEZERRA, 2003). A corrosão do pino do isolador, em ambiente poluído por gases industriais e maresia, foi parcialmente resolvida com a adoção de aço inox, em lugar de aço forjado galvanizado. O emprego do tipo adequado de isolador antipoluição, a troca da cadeia de isoladores, aliado à lavagem periódica de equipamentos de linhas, representam no momento o melhor tipo de manutenção e a melhor solução. Mais de 500.000 isoladores, do tipo antipoluição, estão atualmente em operação nos cinco continentes em áreas onde mais intensa é a poluição devida à maresia, gases industriais, poeiras, etc. Estes isoladores resultaram numa considerável melhoria para as condições de manutenção das linhas de alta tensão. No Brasil, diversas empresas estão empregando com sucesso tais isoladores, da série AP, fabricados pela VIFOSA desde 1964. Vários trabalhos estão sendo desenvolvidos na melhoria da vida útil dos isoladores, mas muitos fatores, principalmente naturais, fazem com que não exista um controle mais preciso do processo de deteriorização. Recentemente, houve no Brasil uma falta de energia de mais da metade do país. Estudos mostraram de que uma das possibilidades da queda das três redes de distribuição na estação de distribuição em São Paulo foi causada por isoladores deteriorados.

Determinar o momento de se fazer uma manutenção é importantíssimo. Tanto o excesso de manutenções não é conveniente, pois eleva os custos, quanto a não execução ou sua realização em períodos esporádicos pode acarretar uma falha do sistema, ocasionando perdas ainda maiores.

Outras soluções têm sido adotadas pelas empresas de manutenção. Uma delas é a substituição no tipo do isolador. É o caso do uso de isoladores poliméricos em substituição aos isoladores de vidro ou porcelana. Ainda que muitas vantagens sejam atribuídas aos isoladores poliméricos (duração, resistência a vandalismo) eles não estão livres das operações de manutenção. Nesse caso, o método que se apresenta mais adequado é a interceptação de ondas eletromagnéticas emitidas pelos isoladores.

Vários trabalhos relatam interferência, o espectro emitido ou medições dos campos provenientes de isoladores, e comprovam a existência de campos de altas frequências emanados dos mesmos (MAX NÉRI et al, 2006). Cada geometria e estado físico (limpo, impregnado, molhado, defeituoso, com fissuras, etc.) do isolador deve apresentar um espectro particular de frequência de emissão durante, sobre tudo, os períodos de corona audíveis. Os trabalhos acima constataram um espectro de frequência que se estende próximo a faixa de microondas (900 MHz). É possível que nem todo o espectro contenha as informações básicas necessárias que descrevam a assinatura do isolador como a existência de faixas superiores. Um estudo sobre a largura da faixa e em qual faixa de frequências melhor representa a resposta espectral do isolador permitirá reduzir o número de medições e o tempo de operação das mesmas.

Há uma proposta mundial de criação de uma rede de energia inteligente, também conhecida como *Smart Grid*, uma ideia para melhorar o consumo de energia.

A lógica da *Smart Grid* está em uma palavra: inteligência. Novas redes serão automatizadas com medidores de qualidade e de consumo de energia em tempo real, ou seja, uma casa estará conectada a empresa geradora de energia e, em um futuro próximo, até fornecer eletricidade para ela. A inteligência também será aplicada no combate à ineficiência energética, isto é, a perda de energia ao longo da transmissão (BUDKA et al, 2010).

Com base nas informações expostas, este estudo tem como finalidade a de analisar o sinal de radiointerferência emitido pelos isoladores de alta tensão, sendo este o ponto de partida para um futuro projeto em que este sinal será processado, matematicamente e computacionalmente, para que o mesmo possa ser analisado e feito uma comparação entre o sinal de radiointerferência emitido por um isolador defeituoso

e um isolador em condições normais de uso, fazendo com que haja um maior controle e se saiba com antecedência problemas que possam ser causados por algum tipo de poluição no isolador e consequentemente fazer a devida manutenção ou a troca do mesmo, além de contribuir na consolidação da linha de pesquisa *Smart Grid*.

## 2 MATERIAL E METÓDOS

Para o isolamento das linhas de transmissão são necessários dispositivos especialmente desenhados, conhecidos como isoladores. Os isoladores têm a finalidade de isolar eletricamente um corpo condutor de outro corpo qualquer e devem apresentar ótimas características dielétricas e mecânicas, levando em conta a natureza rigorosa do trabalho que irá realizar.

Os isoladores devem suportar elevadas tensões de compressão, devem ser duros e apresentarem sua superfície altamente polida. Seu desenho deve minimizar ao máximo a acumulação de linhas de fluxo eletrostáticas o que não permitirá o rompimento de arcos elétricos em sua superfície. O desempenho eletromecânico dos isoladores deve manter-se estável em qualquer condição umidade, temperatura, poeira, chuva, neve, etc. Os isoladores são mais comumente fabricados através de porcelana, vidro e polímeros, como mostra a Fig. 1 abaixo.



Figura 1 – Tipos de isoladores.

Durante a vida útil do isolador, há um acúmulo de sujeira e poluição, sendo estes os principais problemas deste dispositivo, provocando corrosão até o não funcionamento do mesmo.

### 2.1. SINAIS EMITIDOS PELOS ISOLADORES

Os isoladores emitem sinais eletromagnéticos no domínio da frequência. Uma maneira de transmitir o sinal de informação é fazendo uma translação do mesmo. O sinal em banda base em outra posição do espectro (FONTGALLAND et all, 2005).

Uma modulação em AM (Modulação em Amplitude) é o produto de duas ondas com diferentes frequências. Seja uma componente de Fourier harmônica de sinal  $A(t)$  com frequência fixa em  $f$  e amplitude  $A$  (chamada de modulada) e outro sinal  $B$

(chamado de portadora). Sua amplitude e frequência são dadas por  $B_0$  e  $f_0$ , respectivamente, e o sinal de ambas são dados por (FONTGALLAND, 2005):

$$A(t) = A_1 + A_2 \cos(\omega t) \quad (1)$$

$$B(t) = B_0 \cos(\omega_0 t) \quad (2)$$

onde  $\omega = 2\pi f$ .

Determina-se o sinal misturado (multiplicado) pelo produto das duas ondas  $A$  e  $B$  dado por:

$$S(t) = A(t) \cdot B(t) \quad (3)$$

A equação (3) representa a convolução dos dois espectros no domínio da frequência, e depois de manobras matemáticas o sinal será composto por duas novas frequências centradas em  $f_0 \pm f$  ( $\omega_0 > \omega$ ), dado por:

$$S(t) = S_0 \cos \omega_0 t + S_m [\cos(\omega_0 + \omega) t + \cos(\omega_0 - \omega) t] \quad (4)$$

onde  $S_m$  é a amplitude do sinal modulado, contendo a portadora e a informação e  $S_0$  o sinal da portadora.

Quando as equações (1) e (2) são compostas por uma banda de frequência ou possuem uma variação na frequência, um espectro de sinal modulado resultante, conforme mostra a equação (4), será reescrito com componentes centradas nas frequências que combinam todas as frequências presentes nas equações (1) e (2).

Cada isolador emite um espectro em particular, que por sua vez, varia quanto ao estado físico do mesmo, ou seja, existe um sinal para o isolador no estado limpo e um sinal para cada tipo de poluição que os afetam.

Tendo em vista os sinais emitidos pelos isoladores, faz-se necessário o estudo deste sinal em função da frequência, com o intuito de verificar se este é aleatório.

## 2.2 VARIÁVEIS ALEATÓRIAS

Uma variável aleatória pode ser considerada como o resultado numérico da operação mecanismo não determinado ou de fazer uma experiência não determinística para gerar resultados aleatórios. Intuitivamente, uma variável aleatória pode ser vista como uma medição de algum parâmetro que pode gerar um valor diferente a cada medida.

### A. Variável Aleatória Discreta

É dita discreta quando assume valores em pontos isolados ao longo de uma escala (número finito ou infinito enumerável de valores). Um exemplo pode ser o de número de pessoas em uma sala.

### B. Variável Aleatória Contínua

Ela é contínua quando assume qualquer valor ao longo de um intervalo (número infinito não enumerável de valores). Pode ser exemplos de variáveis aleatórias contínuas o tempo, a frequência, a temperatura, entre outros.

Uma variável aleatória é contínua quando a probabilidade de qualquer conjunto de tamanho zero é zero, em que tamanho deve ser definido no contexto da teoria da medida.

No caso de uma variável aleatória  $X$  cujo espaço amostral é um subconjunto de  $\mathbb{R}$ , ela será contínua se, e somente se, a função de probabilidade acumulada,  $F(x) = \text{Prob}(X \leq x)$ , sendo  $x$  a quantidade de amostras, for uma função contínua.

Tendo-se aprofundado em variáveis aleatórias, conclui-se que se a variável independente for contínua, o sinal é chamado sinal contínuo no tempo. Se a variável independente for discreta, o sinal é chamado sinal discreto no tempo. Um sinal contínuo no tempo é definido a cada instante de tempo. De outra forma, um sinal discreto é definido em instantes discretos do tempo e, portanto, é uma sequência de números.

A Fig. 2 mostra o espectro eletromagnético emitido por um isolador de vidro. Vê-se nessa figura que o espectro é aleatório, pois não existe uma constância, sendo que ele varia continuamente em frequência e amplitude, podendo-se classificar o sinal emitido de aleatório e contínuo.

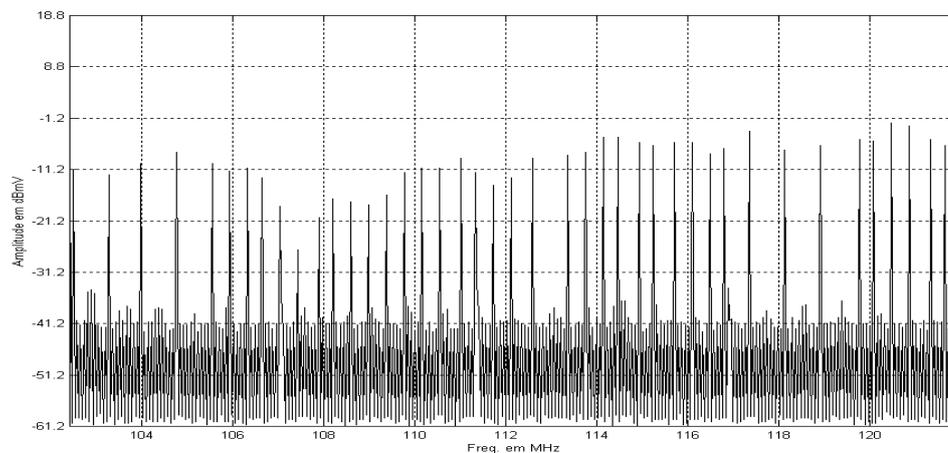


Figura 2. - Sinal eletromagnético, em função da frequência, emitido por um isolador limpo com tensão de 31,6 kV aplicado sobre o mesmo.

Baseado nas variáveis aleatórias contínuas, estas são apresentadas através de funções comumente chamadas de Funções Densidade de Probabilidade (FDP) e Funções Cumulativas de Probabilidade (FCP).

Existem duas funções associadas a cada variável contínua  $X$ : a função densidade de probabilidade, simbolizada por  $f(X)$ , e a função cumulativa de probabilidade, ou função de distribuição de probabilidade representada por  $F(X)$ . A função  $f(X)$  é aquela cuja integral de  $X = a$  até  $X = b$  ( $b \geq a$ ) dá a probabilidade de que  $X$  assumira valores compreendidos no intervalo  $(a, b)$ , ou seja (BUSSAD e MORENTTI, 1999):

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x) dx \quad (5)$$

A função cumulativa de probabilidade (FCP),  $F(b)$  é:

$$F(b) = P(X \leq b) = \int_{-\infty}^b f(x) dx \quad (6)$$

Um exemplo que pode ser dado para uma FCP é uma distribuição exponencial, dada pela sua função densidade de probabilidade:

$$f(x) = \lambda e^{-x\lambda}, \text{ com } x \geq 0 \quad (7)$$

A função cumulativa de probabilidade desta distribuição, de acordo com a definição, é:

$$F(x) = \int_0^x \lambda e^{-x\lambda} dx = 1 - e^{-x\lambda} \quad (8)$$

Qualquer função definida em  $\mathbb{R}$  só pode ser considerada como uma função densidade de probabilidade se forem satisfeitas as seguintes condições:

$$f(x) \geq 0, \text{ para todo } x, \text{ e } \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1 \quad (9)$$

A probabilidade de  $X$  assumir os valores no intervalo  $(a, b)$  é:

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x) dx = F(b) - F(a) \quad (10)$$

A probabilidade de  $X$  assumir um valor em particular,  $b$ , por exemplo, é:

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x) dx = F(b) - F(a) = 0 \quad (11)$$

As funções densidade e cumulativa de probabilidades (FDP e FCP) possuem distribuições no domínio contínuo e discreto. Como mencionado acima, o sinal de um isolador de alta tensão a ser estudado é contínuo, de modo que as distribuições contínuas. Algumas distribuições de variáveis aleatórias contínuas são importantes para o tratamento dos espectros emitidos pelos isoladores de alta tensão, tais como:

- Distribuição Normal

A distribuição de probabilidade contínua mais importante e mais utilizada em engenharia elétrica é a distribuição normal, geralmente citada como curva normal ou curva de Gauss. Sua função densidade de probabilidade é (MORENTI, 2002):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \text{ para } -\infty < x < +\infty, \quad (12)$$

onde  $\mu$  é a média e  $\sigma$  é o desvio padrão da medida.

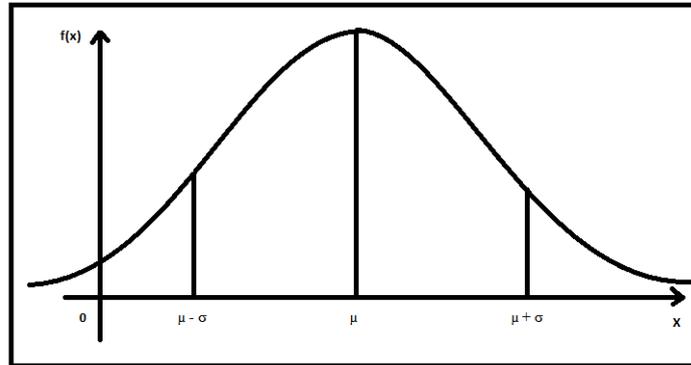


Figura 3 – Gráfico da Distribuição Normal.

A Fig. 3 ilustra uma particular *curva normal*, determinada por valores particulares de  $\mu$  e  $\sigma^2$ . Trata-se especificamente de uma FDP de uma V.A. normal com média  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$ .

- Distribuição Gama:

A V.A contínua  $X$ , assumindo valores positivos, tem uma distribuição gama com parâmetros  $\alpha \geq 1$  e  $\beta > 0$ , se sua FDP for dada por:

$$f(x, \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, & x > 0, \\ 0 & ,x < 0. \end{cases} \quad (13)$$

A função  $\Gamma(\alpha)$  é a função gama, importante em muitas áreas da matemática, dada por:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty e^{-x} x^{\alpha-1} dx, \quad \alpha > 0 \quad (14)$$

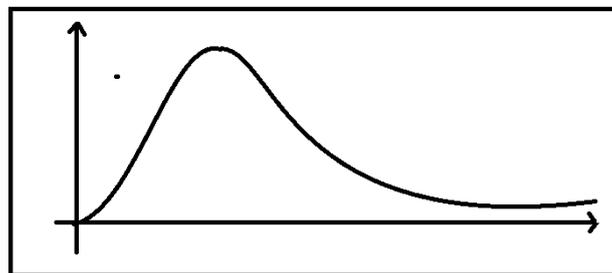


Figura 4 - Gráfico da Distribuição Gama.

Funções Densidade da Distribuição Gama:

$$\text{FDP: } f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}; \quad (15)$$

$$\text{FCP: } F(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha) \beta^\alpha} \int_0^x X^{\alpha-1} e^{-\frac{X}{\beta}} dX \quad (16)$$

- Distribuição Uniforme:

Uma variável aleatória contínua  $X$  tem distribuição uniforme de probabilidade no intervalo  $[a, b]$  se a sua FDP é dada por  $f(x) = k$ .

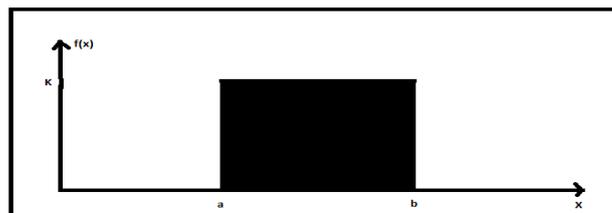


Figura 05 – Gráfico da Distribuição Uniforme.

A Fig. 5 mostra o gráfico de uma distribuição uniforme no intervalo de  $[a, b]$ .

O valor de  $K$  é:

$$\int_a^b k dx = 1 \quad (17)$$

$$\text{onde } K = \frac{1}{b-a}, \text{ logo ; } f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{se } a \leq x \leq b \\ 0 & \text{se } x < a \text{ ou } x > b \end{cases} \quad (18)$$

- Distribuição Exponencial

Uma variável aleatória  $X$  tem distribuição exponencial de probabilidade se a sua função densidade de probabilidade é dada por (MORENTI, 2002):

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x} & \text{se } x \geq 0 \\ 0 & \text{se } x < 0 \end{cases} ; \int_0^{\infty} \lambda e^{-\lambda x} dx = 1 \quad (19)$$

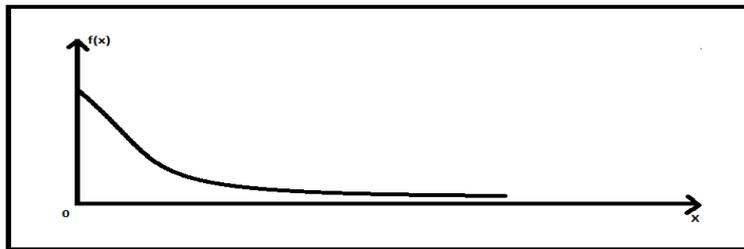


Figura. 6 – Gráfico da Distribuição Exponencial.

A da Fig. 6 mostra o gráfico de uma distribuição exponencial. Trata-se de uma FDP de uma V.A exponencial quando  $\lambda = 1$ .

- Distribuição Qui-Quadrado:

Esse modelo é um caso especial importante do modelo gama. É obtido fazendo-se  $\alpha = \nu/2$  e  $\nu = 2$ , com  $\nu > 0$  inteiro.

Uma variável aleatória contínua  $Y$ , com valores positivos, tem uma distribuição qui-quadrado com  $\nu$  graus de liberdade denotada por  $X^2(\nu)$ , se sua função densidade for dada por:

$$f(y; \nu) = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(\frac{\nu}{2}) 2^{\frac{\nu}{2}}} y^{\frac{\nu}{2}-1} e^{-\frac{y}{2}}, & y > 0, \\ 0, & y < 0. \end{cases} \quad (20)$$

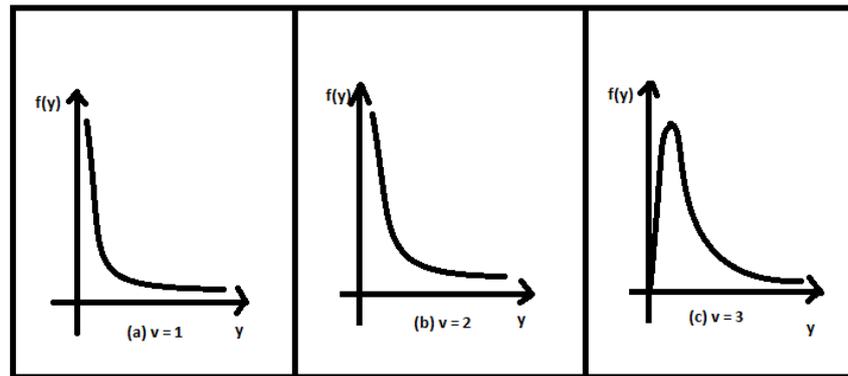


Figura 7 – Gráficos da Distribuição Qui-Quadrado.

A Fig. 7 trata-se dos gráficos da distribuição Qui – Quadrado, quando  $\nu$  assume os valores 1, 2 e 3, respectivamente.

- Distribuição  $t$  de Student

Seja  $Z$  uma variável aleatória  $N(0,1)$  e  $Y$  uma variável aleatória  $X^2(\nu)$ , com  $Z$  e  $Y$  independentes. Então, a função é dada por:

$$t = \frac{Z}{\sqrt{Y/\nu}} \quad (21)$$

e tem densidade dada por:

$$f(t; \nu) = \frac{\Gamma(\frac{\nu+1}{2})}{\Gamma(\frac{\nu}{2})\sqrt{\pi\nu}} (1 + t^2/\nu)^{-(\nu+1)/2}, -\infty < t < \infty \quad (22)$$

Pode-se dizer que tal variável tem uma distribuição  $t$  de Student com  $\nu$  graus de liberdade e a indica-la por  $t(\nu)$ . Pode-se provar que  $E(t) = 0$ ,  $Var(t) = \frac{\nu}{\nu-2}$ , e verificar que o gráfico da densidade de  $t$  aproxima-se bastante de uma  $N(0,1)$  quando  $\nu$  é grande.

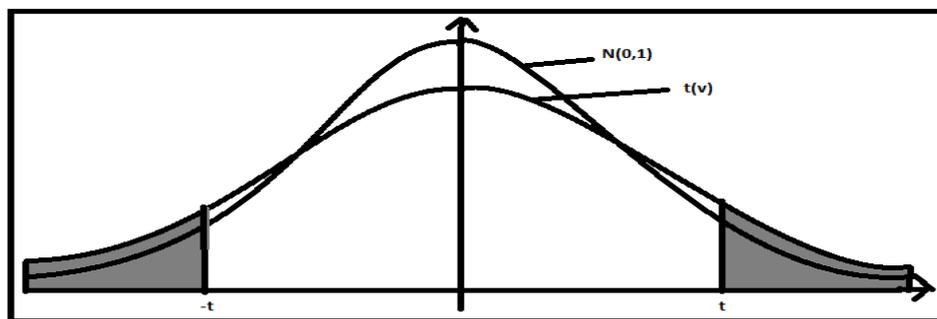


Figura 8 – Gráfico da Distribuição  $t$  de Student.

Funções do tipo mencionadas acima são utilizadas em métodos computacionais que, para um tratamento de dados precisam ser processadas. Diversas são as técnicas de processamento de sinais, as mais utilizadas são tratadas abaixo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O intuito de se processar o sinal para estudos posteriores é o de reconhecer os padrões dos sinais emitidos pelos isoladores de alta tensão. Uma das operações mais utilizadas para o processamento de sinais é a filtragem. Vários tipos de filtros podem ser definidos, dependendo da natureza da operação de filtragem. Em parte dos casos, a operação de filtragem para sinais analógicos é linear e é descrita pela integral da convolução (ALBUQUERQUE et all, 2002), como mostrado na equação (3).

Existem vários tipos de filtros, o passa-alta, que passa apenas uma frequência superior a certa frequência, filtro passa-baixa, que deixa somente passar as baixas frequências, e filtros passa banda e rejeita banda, onde o primeiro seleciona uma determinada faixa de frequências e o segundo, rejeita a mesma faixa de frequência, não deixando neste intervalo o sistema ter qualquer tipo de ganho. Estes filtros são necessários para quando no domínio da frequência, o método computacional faça uma seleção das mesmas que se deseja serem analisadas.

Diversas são as técnicas onde se processa o sinal para posteriormente reconhecê-los, algumas delas apresentadas abaixo.

#### 3.1 AR – MODELO AUTORREGRESSIVO

É dada por uma série qualquer  $X_t$  que pode ser explicada como uma função das observações passadas (RANDOLPH et all,1994). Um processo  $\{X_t\}$  é chamado de processo autorregressivo de ordem  $p$ , ou AR ( $p$ ), se:

$$X_t = \alpha_1 X_{t-1} + \dots + \alpha_p X_{t-p} + \varphi_t \quad (25)$$

#### 3.2 MA – MODELO MÉDIAS MÓVEIS

Seja  $\{\varepsilon_t\}$  um processo discreto puramente aleatório com média zero e variância  $\sigma^2\varepsilon$ . Um processo  $\{X_t\}$  é chamado de processo de médias móveis de ordem  $q$ , ou MA( $q$ ), se:

$$X_t = \varepsilon_t + \beta_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \beta_q \varepsilon_{t-q} \quad (26)$$

Modelos de médias móveis são formados por combinação linear do ruído branco.

#### 3.3 ANÁLISE DE FOURIER

Toda função  $f(t)$  periódica de período  $P$ , pode-se representar na forma de uma soma infinita de funções harmônicas:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} [a_i \cos(i\omega t) + b_i \sin(i\omega t)] \quad (27)$$

Utilizada em várias áreas do conhecimento, inclusive em telecomunicações, é restrita principalmente com relação ao janelamento de bandas de frequências.

### 3.4 WAVELETS

Possuem a função capaz de decompor e descrever outras funções no domínio da frequência, de forma a analisar estas funções em diferentes escalas de frequência e de tempo.

A decomposição de uma função com o uso de *wavelets* é conhecida como transformada de *wavelet* e tem suas variantes contínua e discreta.

Graças a capacidade de decompor as funções tanto no domínio da frequência quanto no domínio do tempo, as funções *wavelet* são ferramentas poderosas para a análise de sinais e compressão de dados.

Para ser considerada uma *wavelet*, uma função tem de atender as seguintes características:

A área total sob a curva da função é 0, ou seja (BEZERRA *et all*, 2003),

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Psi(t) dt = 0. \quad (28)$$

A energia da função é finita, ou seja, a integral

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\Psi(t)|^2 dt \quad (29)$$

é finita.

O principal problema das análises de sinais em *Wavelets* é o fato dela ser muito específica. A *wavelet* desenvolvida serve apenas para o problema especificado, raramente é utilizada para outras aplicações, sendo necessária refazer o método (ALBUQUERQUE *et all*, 2002).

### 3.5 MÉTODO PRONY

A análise Prony (Método de Prony) foi desenvolvida por Gaspard Riche de Prony em 1795. Sua utilização prática do método só foi conseguida pela tecnologia do computador digital. Semelhante à de Fourier, o método Prony extrai informações valiosas de um sinal amostrado uniformemente e cria uma série de amortecimento exponenciais complexas ou sinusóides (BEZERRA *et all*, 2003).

Também permite a estimativa de frequência, amplitude, fase e componentes de amortecimento de um sinal.

Seja  $f(t)$  um sinal composto de  $N$  amostras espaçadas uniformemente. O Método de Prony é dada pela função:

$$\hat{f}(t) = \sum_{i=1}^N A_i e^{\sigma_i t} \cos(2\pi f_i t + \phi_i) \quad (30)$$

ao  $f(t)$  observado. Utilizando a fórmula de Euler, se obtém:

$$\hat{f}(t) = \sum_{i=1}^N A_i e^{\sigma_i t} \cos(2\pi f_i t + \phi_i) = \sum_{i=1}^N A_i e^{\pm j \phi_i} e^{\lambda_i t}, \quad (31)$$

assim descrita, a computação dos termos é mais direta.

Na equação anterior,  $\lambda_i = (\sigma_i \pm j\omega_i)$  são os autovalores do sistema,  $\sigma_i$  são as componentes de amortecimento,  $\omega_i$  são as componentes de fase  $f_i$  são as componentes de frequência,  $A_i$  são as componentes de amplitude da série e  $j$  é o número complexo.

### 3.6 ANÁLISE PROBABILÍSTICA DOS SINAIS – MÉTODO DA ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

Sendo o estudo de variáveis aleatórias contínuas, o estudo de uma análise probabilística se faz necessária. Alguns métodos de análise probabilística são utilizados, mas, com relevância ao trabalho, o método da estatística multivariada é considerado.

Utilizados para fins de facilitar e simplificar a interpretação de um fenômeno que está em estudo. Ele reduz a dimensão de um vetor de dados e cria índices ou variáveis alternativas para que sintetizem a informação original dos dados.

Também constrói grupos de elementos amostrais que apresentam similaridades entre si, possibilitando a segmentação do conjuntos de dados originais. O método investiga as relações de dependência entre as variáveis respostas associadas ao fenômeno e outros fatores.

Um tipo de método de análise estatística multivariada é o de Análise dos Componentes Principais (PCA). Há uma compressão de vetores e uma redução de dimensionalidade. A uma extração de características e projeção dos dados multivariados.

### 3.7 MEIOS PARA O RECONHECIMENTO DE PADRÕES PROBABILÍSTICO

Com relação à Fig. 2, para se processar este tipo de informações, é necessário que o recurso matemático aprenda com o tipo de sinal, ou seja, haja um reconhecimento do padrão adotado no espectro. Baseado nisso, a análise de dados exploratória (ADE) ou Estatística Exploratória é verificada.

Ela é utilizada para a identificação de relacionamentos sistemáticos entre variáveis e pode ser usada diretamente como um classificador ou também como um extrator de informações de um conjunto de dados para que posteriormente sejam aplicados a algum outro tipo de classificador. São classificadas por métodos estatísticos exploratório básico, que analisa a distribuição de variáveis, verifica matrizes de correlação e não conseguem realizar diretamente o reconhecimento de padrões; e técnicas exploratórias multivariadas, que são projetadas para identificar padrões em conjunto de dados e são divididas em 10 subtécnicas, não mencionadas neste trabalho.

### 3.8 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS – RNA's

É uma técnica de inteligência artificial (IA). É baseada em treinamentos e “imita” o funcionamento do cérebro humano, criando estruturas lógicas representando os neurônios e suas interligações. Processa a informação de forma distribuída (processamento paralelo), o que aumenta consideravelmente a quantidade e a velocidade de processamento (KARTHIKEYAN, *et all*, 2008).

A rede neural é considerada relativamente de fácil compreensão, pois podem ser abstraídos conceitos internos de seu funcionamento, mas o modo de processamento é do tipo caixa-preta, onde toda a execução se dá de forma oculta.

### 3.9 ALGORITMOS GENÉTICOS (AG)

Da mesma forma que as RNA's, foram inspirados na natureza, com estruturas lógicas que representam os cromossomos e possui o conceito de seleção natural, *crossover*, cromossomo mais adaptado (*fitness*). Eles podem ser utilizados em conjunto com as RNA's, formando sistemas híbridos (KARTHIKEYAN, *et all*, 2008).

## CONCLUSÃO

Este trabalho teve como principal objetivo o de estudar os sinais emitidos pelos isoladores. Assim sendo, iniciou-se um estudo aprofundado sobre os isoladores de alta tensão, dos sinais de radiofrequência emitidos pelo mesmo.

Concluiu-se que os sinais eletromagnéticos emitidos pelos isoladores são de natureza aleatória e continua, podendo ser trabalhado através de uma das funções que representam as variáveis aleatórias contínuas; as funções densidade de probabilidade (FDP) e as funções cumulativas de probabilidade (FCP).

Este foi o ponto de partida para um futuro estudo no qual este sinal poderá ser transformado para o domínio da frequência para o do tempo, com o intuito de obter visualização do sinal. Após essa transformação, o sinal poderá ser processado matematicamente, através das funções de probabilidade (FDP's e FCP's) estudadas, e computacionalmente (pelo *software Matlab*), para que o mesmo possa ser analisado e feito uma comparação entre o sinal de radiofrequência emitido por um isolador com poluição ou defeituoso e um isolador em condições normais de uso, obtendo assim um maior controle nos problemas oriundos de poluição nos isoladores e conseqüentemente fazer a devida manutenção ou a troca do mesmo, além de contribuir na consolidação da linha de pesquisa *Smart Grid*.

**REFERÊNCIAS**

- [1] F.J.M.M. Cavalcanti, Controle e Análise de Desempenho de Isolamento de Linhas de Transmissão em Ambientes com Poluição, Visando Ações Preventivas, Dissertação de Mestrado, Engenharia Elétrica, UFPE, 2004.
- [2] G. Montoya-Tena, R. Hernandez-Corona, I. Ramirez-Vazquez, Experience on Pollution Level Measurement in Mexico, *Electric Power Systems Research*, Vol. 76, pp 58-66, Elsevier, 2005.
- [3] B. Karthikeyan, S. Gopal, M. Vimala, Conception of Complex Probabilistic Neural Network System for Classification of Partial Discharge Patterns Using Multifarious Inputs, *Expert Systems with Applications*, n° 29, pp 953-963, Elsevier, 2005.
- [4] B. Karthikeyan, S. Gopal, S. Venkatesh, Partial Discharge Pattern Classification Using Composite Versions of Probabilistical Neural Network Inference Engine, *Expert Systems with Applications*, n° 34, Issue 33, pp 1938-1947, Elsevier, 2008.
- [5] R. R. B. Aquino, J. M. B. Bezerra, G. S. M. E. Santos, et al, Aplicação de Redes Neurais para Diagnóstico de Poluição em Isoladores de Alta Tensão, XIX Seminário de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2007, Rio de Janeiro, 2007.
- [6] J. M. Bezerra, E. G. Costa, A. M. N. Lima et al, Técnicas de Diagnóstico de Poluição em Isoladores Aéreos de Alta Tensão, XVII SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Uberlândia, 2003.
- [7] Fontgalland, M. G.G. Netto, R. M. do Vale, G. Aragão e E. S. Pires, G. F, Identification of Modulation Characteristics in Electromagnetic Interferences Measures from Glass Insulator, ISEMC - LNCC, 2005.
- [8] D. Devendranath, K.A. Aravind, A. Ramulu e A.K. Tripathy, Accelerated-ageing test for RTV-coated insulators: analysis of electrical and material properties, *IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib.* Vol. 152, No. 5, September 2005.
- [9] An Efficient Linear Method dor ARMA Spectral Estimation, Randolph L. Moses, Virginija Simonyte, Petre Stroica, Torsten Sonderstrom, Taylos & Francis, 1994
- [10] Processamento Digital de Sinais, Márcio Portes de Albuquerque e Marcelo Portes de Albuquerque, Apostila, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, (CBPF), 2002.
- [11] Estatística básica, Wilton de O. Bussad, Pedro A. Morrenti – 5. Ed. – São Paulo : Saraiva, 2002.
- [12] Estatística básica, Luiz G. Morrenti – Volume 01 – Probabilidade – 7. Ed. – São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1999.
- [13] Budka, K. Deshpande, J. Hobby, J. Young-Jin Kim Kolesnikov, V. Wonsuck Lee Reddington, T. Thottan, M. White, C.A. Jung-In Choi Junhee Hong Jinho Kim Wonsuk Ko Young-Woo Nam Sung-Yong Sohn, GERI - Bell Labs Smart Grid Research Focus: Economic Modeling, Networking, and Security & Privacy, Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2010 First IEEE International Conference on , 2010.