



**XXIII SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GLT/20  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

**GRUPO - III**

**GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO- GLT**

**SELEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE ISOLADORES PARA USO SOB CONDIÇÕES DE POLUIÇÃO**

**Darcy Ramalho de Mello(\*)**  
CONSULTOR

**Adílson Pereira**  
CERÂMICA SANTA TEREZINHA

**Ana Cláudia Balestro**  
BALESTRO..

**Clarice I. Oshiro**  
..ELEKTRO

**Fabio Frutuoso**  
ELECTROVIDRO

**Luiz. G. Gardin**  
LG GARDIN

**Ricardo W. Garcia**  
CEPEL

**Roberto P. S. Pinto Jr**  
FURNAS

**Sylvia G. de Carvalho**  
FURNAS

**RESUMO**

Este artigo tem como objetivo ressaltar os princípios que permitem uma avaliação consistente do provável comportamento de um determinado isolador em certo ambiente poluído, identificar os parâmetros do sistema que podem influenciar o comportamento dos isoladores sob poluição, apresentar as abordagens que podem ser utilizadas para o projeto e seleção do isolador mais indicado, com base nos dados disponíveis, tempo e recursos, indicar como caracterizar o tipo da poluição em um local permitindo assim a determinação da severidade da poluição local, mostrar como determinar a distância de escoamento específica unificada de um isolador a partir da severidade da poluição local e determinar os métodos de ensaio apropriados e os parâmetros para verificar o desempenho dos isoladores selecionados.

Além disso, o artigo apresenta conceitos e considerações, trazidas em debate pelo Grupo de Trabalho da IEC (International Electrotechnical Commission), quando da elaboração das normas de poluição e que não foram incluídos nas mesmas por terem sido considerados de domínio público ou muito específicos, pois já foram publicados em seminários ou em revistas técnicas diversas e, portanto, estão disponíveis para serem obtidos após uma pesquisa bibliográfica. Essas considerações adicionais auxiliam no dimensionamento de um isolador para um determinado nível de poluição local e alertam sobre alguns cuidados a serem tomados quando do projeto da cadeia de isoladores, como por exemplo, o uso de cadeias múltiplas (duplas, triplas ou quádruplas) em um determinado projeto.

**PALAVRAS-CHAVE**

Isolador, Poluição, Normalização, Cadeias de isoladores, Distância de escoamento

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O desempenho elétrico de isoladores usados em linhas de transmissão, em redes de distribuição e em subestações é um fator chave na confiabilidade dos sistemas de potência. Os isoladores devem não somente suportar a tensão de operação, mas também suportar sobretensões sem redução do seu desempenho que possa causar distúrbios, descargas disruptivas ou falha operacional. A redução do desempenho de isoladores para uso externo ocorre principalmente devido à poluição depositada sobre as superfícies isolantes que pode formar uma superfície total ou parcialmente condutora quando umidificada. A presença desta camada total ou parcialmente condutora é que indicará o desempenho que pode levar a ocorrência de uma descarga disruptiva. Deve-se considerar também que a corrente que circula na superfície umedecida dos isoladores é responsável por perdas corona. Além disso, estudos realizados mostraram correlação entre poluição e a corrosão nos isoladores [1].

É impraticável, em muitas situações, evitar a formação desta camada condutora e conseqüentemente, os isoladores devem ser projetados de modo a evitar a ocorrência de uma descarga disruptiva. Em certas situações, onde a poluição é extremamente severa, medidas preventivas como lavagem, uso de graxa de silicone ou RTV

(\*) Endereço Rua Prof. Gabizo, n° 109 – sala 204 - CEP 20.271-063 – Rio de Janeiro - RJ – Brasil  
Cel: (+55 21) 99617-1096 – Fone: (+55 21) 2568-2384 – Email: darcy.mello@gmail.com

podem ser necessárias, assim como a utilização de isoladores poliméricos à base de borracha de silicone.

Está claro que o ambiente onde o isolador deve operar, junto com o isolador propriamente dito, determinará a severidade da camada de poluição sobre o isolador.

A tradução do ambiente em parâmetros que podem ser usados para projetar o isolamento apresenta, contudo, um dos problemas fundamentais no projeto de um isolamento externo com respeito à condição sob poluição. Isto é devido à ampla faixa de condições possíveis tais como as encontradas na região costeira, em regiões industriais e em áreas desérticas, assim como regiões com gelo e neve em altitudes elevadas. Combinações das condições mencionadas anteriormente podem também ocorrer. Avaliação de 568 casos de descargas disruptivas em isoladores, ocorridas nos Estados Unidos, mostrou que a maior parte das descargas ocorreu em condições de nevoeiro, orvalho, chuva, névoa, gelo e neve, como pode ser visto na Figura 1 [2]. Um fator complicador é que as condições ambientais possuem seu próprio comportamento estatístico e isso é muitas vezes impossível de ser predito. Por exemplo, o aumento da disponibilidade de energia em um determinado local, com a construção de uma subestação, permite o aparecimento de um parque industrial, aumentando a poluição na região e consequentemente sobre os equipamentos da subestação. Isto mostra como é difícil quantificar o efeito da poluição sobre um isolador a médio e longo prazo.

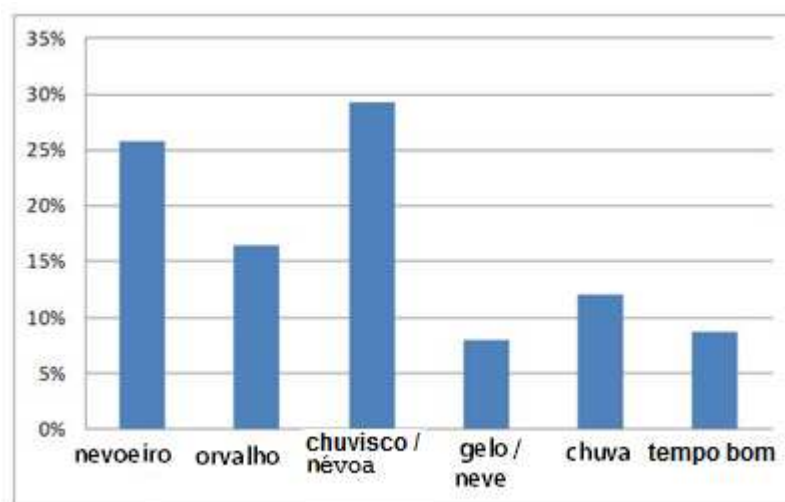


FIGURA 1 – Percentual de descargas disruptivas ocorridas em função das condições ambientais (adaptado de [2])

Em uma tentativa de facilitar o dimensionamento de isoladores para uso em condições sob poluição, a IEC publicou em outubro de 2010, uma revisão da norma de poluição (IEC 60815 de 1986), dividindo-a em quatro novas normas, após um exaustivo trabalho que se iniciou em 1998. Essas normas abrangem definições, princípios gerais e critérios para seleção de isoladores em corrente alternada, tanto de vidro quanto de porcelana e/ou poliméricos. A norma para isoladores em corrente contínua ainda se encontra em elaboração. Em 2014, a ABNT publicou as normas de poluição brasileiras (ABNT NBR IEC/TS 60815-1 [3], 60815-2 [4] e 60815-3 [5]), desenvolvidas com base nas respectivas normas da IEC.

Essas normas trouxeram novos conceitos quanto à classificação da severidade da poluição em um determinado local, na identificação dos parâmetros do sistema, aplicação, equipamentos e local que possam influenciar o comportamento dos isoladores sob poluição, ao reconhecimento da importância do componente não solúvel da poluição sólida depositada na superfície de um isolador, ao uso dos resultados dos ensaios com poluição natural ou artificial no dimensionamento dos isoladores para um determinado local, ao reconhecimento de que a determinação da distância de escoamento não é sempre o único parâmetro a ser usado no dimensionamento de um isolador e sim que outros parâmetros da geometria do isolador possuem importância variável, dependendo do tamanho, tipo e material dos isoladores e à adoção de fatores de correção para garantir levar em consideração a influência da poluição e de parâmetros do isolador.

## 2.0 - ABORDAGENS PARA A SELEÇÃO E O DIMENSIONAMENTO DE UM ISOLADOR

A seleção adequada de isoladores a partir de um catálogo deve ser baseada nas necessidades do sistema e nas condições ambientais e para facilitar o processo, a norma [3] recomenda três abordagens (Abordagem 1, Abordagem 2, Abordagem 3). A aplicabilidade de cada abordagem depende dos dados disponíveis, tempo e recursos envolvidos no projeto. O grau de confiabilidade de que o tipo e dimensões do isolador tenham sido corretamente selecionados varia também de acordo com as decisões tomadas durante o processo. Deve-se observar que, caso atalhos tenham sido utilizados durante o processo de seleção, então a solução resultante poderá representar um superdimensionamento ou um elevado risco de falha quando em operação. A Tabela 1 apresenta a precisão obtida com cada abordagem.

TABELA 1 – Precisão de cada abordagem indicada para seleção e dimensionamento de isoladores para condição sob poluição

	Abordagem 1	Abordagem 2	Abordagem 3
Precisão	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uma seleção com boa precisão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uma seleção com uma precisão variando de acordo com o grau de erros e atalhos na avaliação da severidade da poluição local e com as pressuposições e/ou limitações do ensaio laboratorial selecionado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Possibilidade de sub ou sobredimensionar a solução comparando com as Abordagens 1 e 2.</li> <li>Uma seleção com precisão variando de acordo com o grau de erros e atalhos na avaliação da severidade da poluição local e na aplicabilidade dos fatores de correção selecionados.</li> </ul>

### 3.0 - PARÂMETROS DE ENTRADA PARA A SELEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE UM ISOLADOR

#### 3.1 Geral

A seleção e o dimensionamento de isoladores para uso externo é um processo complexo. Um grande número de parâmetros deve ser considerado para se obter um resultado satisfatório. Para um dado local ou projeto, os dados de entrada necessários são de três categorias [3]: solicitações do sistema, condições ambientais do local e parâmetros do isolador obtidos no catálogo do fabricante. Cada uma dessas três categorias contém um número de parâmetros como indicado na Tabela 2.

TABELA 2 – Parâmetros de entrada para seleção e dimensionamento de isoladores

Solicitações do sistema	Condições ambientais	Parâmetros do isolador
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tipo de sistema: CA ou CC</li> <li>Tensão máxima de operação</li> <li>Parâmetros da coordenação de isolamento</li> <li>Solicitações de desempenho impostas, como por exemplo, número máximo de descargas devido à poluição permitido por 100 km de linha, durante um determinado intervalo de tempo</li> <li>Distância de isolamento, geometria imposta, dimensões</li> <li>Trabalho em linha viva e a prática da manutenção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tipo de poluição e níveis</li> <li>Chuva, névoa, neblina, neve e gelo</li> <li>Vento, tempestades</li> <li>Temperatura, umidade</li> <li>Altitude</li> <li>Descargas atmosféricas, terremotos</li> <li>Vandalismo, animais</li> <li>Crescimento biológico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comprimento total</li> <li>Tipo</li> <li>Material</li> <li>Perfil</li> <li>Distância de escoamento</li> <li>Diâmetro</li> <li>Distância de arco</li> <li>Projeto mecânico e elétrico</li> </ul>

Nota: Sobreensões atmosféricas e de manobra não precisam ser consideradas devido à sua curta duração.

#### 3.2 Diferenças entre a poluição em corrente alternada (ca) e em corrente contínua (cc)

A partir de resultados de laboratório e de observações em campo, sabe-se que para as mesmas condições de poluição, o isolamento para CC pode necessitar de um valor da distância de escoamento específica unificada (distância de escoamento de um isolador dividida pelo valor eficaz da máxima tensão de operação ao longo do isolador) mais elevado que o isolamento para corrente alternada. Este fato pode ter um impacto significativo no custo da linha de transmissão ou da subestação e pode se constituir em uma barreira para o aumento nos valores de tensão em CC. Além disso, deve-se considerar que o acúmulo de poluentes em buchas e isoladores para sistemas CC é acentuado pelo efeito eletrostático do campo elétrico unidirecional.

#### 3.3 Identificação dos tipos de poluição

A identificação do tipo de poluição é fundamental para o dimensionamento do isolador. A ABNT NBR IEC/TS 60815-1 apresenta dois tipos básicos de poluição do isolador que podem ocasionar uma descarga:

##### 3.3.1 Poluição Tipo A

A poluição tipo A está mais frequentemente associada com áreas do interior, desérticas ou com poluição industrial, podendo também aparecer em áreas costeiras nos casos onde uma camada seca de sal cresce e, então, rapidamente se umidifica pela ação de névoa, nevoeiro, neblina, garoa ou chuva.

A poluição tipo A possui duas componentes principais denominadas poluição solúvel, que forma uma camada condutora quando umidificada, e poluição não solúvel, que forma uma camada de fixação para a poluição solúvel.

A poluição solúvel pode ser subdividida em [6]:

- poluição condutiva, que é permanentemente condutiva como, por exemplo, a poluição com partículas metálicas condutivas;
- poluição altamente solúvel, ou seja, causada por sais que se dissolvem prontamente na presença de água (como NaCl, MgCl, NaSO<sub>4</sub>, etc);
- poluição com baixa solubilidade, causada por sais que se dissolvem lentamente na presença de água (como gesso, cinzas, etc).

A poluição não solúvel pode ser subdividida em [6]:

- hidrofílica, quando absorve água, como kaolin, cal, cimento, etc;
- hidrofóbica, quando repele água, como graxa de silicone, óleo, etc.

### 3.3.2 Poluição Tipo B

A poluição tipo B está mais frequentemente associada com áreas costeiras onde a água salgada ou **maresia** se deposita sobre a superfície do isolador. Outras fontes de poluição tipo B são, por exemplo, pulverização de culturas, névoa química (com compostos que podem formar ácidos, como SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, etc) e chuva ácida.

### 3.4 Tipos gerais de ambiente

Além dos parâmetros citados na Tabela 2, deve-se identificar o tipo de ambiente onde o isolador será instalado. A seguir serão apresentadas as características gerais dos diversos tipos de ambientes. Mais detalhes podem ser obtidos na ABNT NBR IEC/TS 60815-1[3].

- Tipo deserto: caracterizado por solos arenosos com períodos prolongados de condição a seco sendo que a camada poluente nessas áreas normalmente compreende sais que se dissolvem lentamente em combinação com um elevado nível de poluição tipo A;
- Tipo costeira: áreas tipicamente na vizinhança direta da costa, mas em alguns casos, dependendo da topografia, pode estar tão longe quanto 50 km terra adentro e apresenta uma poluição tipo B, com crescimento geralmente rápido, especialmente durante condições de spray ou maresia;
- Tipo industrial: áreas localizadas bem próximas de uma fonte de poluição industrial e pode afetar somente poucas instalações. A camada poluente pode ser constituída de partículas condutivas como carvão, depósitos metálicos, gases dissolvidos como: NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> (poluição tipo B) ou poluição que se dissolve lentamente como cimento, gesso (poluição tipo A);
- Tipo agrícola: áreas situadas na vizinhança de atividade agrícola. Tipicamente essas áreas são submetidas à aração (poluição tipo A) ou pulverização de culturas (poluição tipo B);
- Tipo interior: áreas com baixo nível de poluição sem qualquer fonte de poluição claramente identificada.

### 3.5 Severidade da poluição local

Para o propósito de padronização, cinco classes de poluição caracterizam qualitativamente a severidade da poluição local (SPL): muito leve, leve, média, pesada e muito pesada [4,5]. Essas classes podem ser relacionadas com a distância de escoamento específica unificada (DEEU), como pode ser visto na Figura 2. Cabe ressaltar que os valores definidos de mm/kV são baseados na tensão efetivamente aplicada sobre o isolador, diferentemente da tensão de escoamento específica, anteriormente utilizada, onde a tensão era a máxima tensão do sistema (fase-fase). Deve-se observar que os valores apresentados na Figura 2 são aqueles anteriormente conhecidos para cada grau de severidade da poluição multiplicados pelo fator 1,73, pois os mesmos se referem atualmente à tensão fase-terra e não mais para tensão fase-fase.

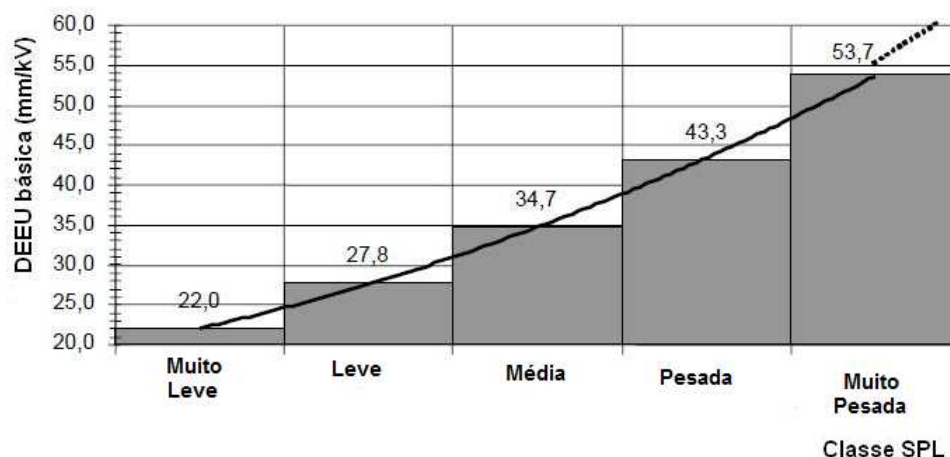


FIGURA 2 – Distância de escoamento específica unificada básica de um isolador em função da severidade da poluição local

#### 4.0 - PROCEDIMENTOS PARA A SELEÇÃO DE ISOLADORES

Todo o processo de seleção e dimensionamento de um isolador pode ser resumido como a seguir:

##### 4.1 Premissas gerais

- determinar a abordagem apropriada em função do conhecimento, tempo e recursos disponíveis;
- coletar os parâmetros de entrada necessários;
- coletar os dados ambientais necessários, especialmente a severidade da poluição local (SPL).
- fazer uma seleção preliminar de um possível isolador candidato, adequado à aplicação e ao meio ambiente;
- refinar a escolha do(s) possível(veis) isolador(es) candidato(s) adequado(s) ao meio ambiente;
- determinar a distância de escoamento específica unificada de referência (DEEUR), que é o valor inicial da distância de escoamento específica unificada para uma poluição local antes da aplicação dos parâmetros de correção referentes ao isolador presentes nas normas [4,5], para os diversos tipos de isoladores utilizando as indicações dadas nas normas ABNT IEC/TS 60815-2 e ABNT IEC/TS 60815-3 ou pela experiência das condições de serviço e estações de ensaio no caso da Abordagem 1;
- corrigir o valor da DEEUR conforme a equação a seguir:

$$\text{DEEUR corrigida} = \text{DEEUR} \times K_a \times K_{ad}$$

onde  $K_a$  é o fator de correção para altitude que é igual a 1 para as condições brasileiras, e  $K_{ad}$  é o fator de correção para o diâmetro médio ( $D_m$ ) do isolador cujo valor depende do tipo de isolador, cerâmico ou polimérico, e deve ser obtido na norma respectiva, ABNT NBR IEC/TS 60815-2 ou ABNT NBR IEC/TS 60815-3;

- escolher os perfis adequados para o tipo de meio ambiente;
- verificar se o perfil escolhido satisfaz aos parâmetros normalizados, com correção ou ação conforme o grau de desvio;
- modificar, se necessário (Abordagens 2 e 3), a DEEUR de acordo com fatores que dependem do tamanho, perfil, orientação, etc., do isolador candidato;
- verificar se o isolador candidato resultante satisfaz as outras características do sistema e da linha de transmissão, rede de distribuição ou subestação (por exemplo: geometria imposta, dimensões, economia);
- verificar o dimensionamento, se necessário no caso da Abordagem 2, por meio de ensaios de laboratório.

##### 4.2 Premissas para seleção do perfil dos isoladores de vidro ou de porcelana

A norma ABNT NBR IEC/TS 60815-2 apresenta as vantagens e desvantagens dos principais tipos de perfil existentes, de acordo com as características de autolimpeza e acúmulo de poluentes, considerando a posição de montagem (vertical ou horizontal), bem como a adequação do perfil a cada tipo de ambiente.

A referida norma apresenta também os riscos quanto ao desempenho sob poluição das relações entre os diversos parâmetros que caracterizam o perfil de um isolador, como pode ser visto, por exemplo, na Figura 3, para a relação entre passo e profundidade da saia. Algumas dessas características como a razão entre passo e profundidade da saia, razão entre distância de escoamento e passo, ângulo da saia e fator de escoamento (relação entre distância de escoamento nominal e a distância de arco) devem ser avaliadas também quanto à possibilidade de ocorrer um curto-circuito entre as saias adjacentes de um isolador devido à chuva, reduzindo a distância de arco e aumentando a probabilidade de uma descarga disruptiva.

Risco para escolha da relação s/p									
Saia com nervuras	Alto			Baixo			Nenhum		
	Alto			Baixo			Nenhum		
s/p	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,9	1,0

FIGURA 3 – Riscos implícitos quanto ao desempenho sob poluição na escolha da razão passo (s) versus profundidade da saia (p)

Isoladores com esmaltes semicondutores ou coberturas hidrofóbicas (tipo RTV) não podem ser dimensionados com o procedimento desta norma, pois até o presente momento não foi possível apresentar uma informação precisa sobre o grau de melhoria e a durabilidade apresentada por estas tecnologias.

##### 4.3 Premissas para seleção do perfil dos isoladores poliméricos

A norma ABNT NBR IEC/TS 60815-3 permite dimensionar isoladores poliméricos com qualquer tipo de revestimento (borrachas de silicone, borrachas de EPDM, EVA ou resinas epóxi rígidas altamente reticuladas baseadas em componentes cicloalifáticos) e ressalta alguns pontos importantes:

- Maiores quantidades de poluentes podem se acumular sobre algumas superfícies poliméricas, principalmente devido à rugosidade superficial, e podem reduzir sua vantagem no desempenho sob poluição quando comparados com isoladores de vidro e porcelana;
- Alguns polímeros podem estar sujeitos ao crescimento de fungos os quais afetam a hidrofobicidade;
- Isoladores poliméricos com capacidade hidrofóbica geralmente demonstram menor influência do diâmetro da saia e da densidade do ar em seu desempenho sob poluição, mas esta influência pode aumentar se a superfície tornar-se hidrofílica.

Recomenda-se o uso da mesma distância de escoamento indicada para isoladores de porcelana ou vidro para evitar problemas de degradação ou descarga disruptiva, mas o uso de uma distância de escoamento reduzida pode ser considerado sob certas circunstâncias, como:

- Resultados obtidos por meio de ensaios em linha, estação de ensaio ou dados históricos com o mesmo projeto, material e stress elétrico;
- A poluição é predominantemente do tipo A, sem nenhum risco de eventos extremos (umidade ou deposição de poluição);
- Não há umedecimento frequente ou cíclico ou outros efeitos ambientais sujeitos a prolongar ou inibir a recuperação da hidrofobicidade;
- Adoção de inspeções regulares, manutenção, lavagem ou limpeza;
- Não existe outra solução possível devido a restrições dimensionais.

Em geral, as saias de isoladores poliméricos são mais simples que aquelas dos isoladores de vidro ou porcelana, a maioria podem ser classificadas como perfis abertos. Comumente, sua inclinação de topo é menor do que 20°. Não há ranhuras profundas. Elas são geralmente aceitáveis em todos os tipos de condições ambientais, ambos os tipos de poluição (A e B) e em ambas as orientações (vertical e horizontal).

Assim como ocorre na norma específica para isoladores de vidro e porcelana, a norma específica para isoladores poliméricos apresenta também os riscos quanto ao desempenho sob poluição das relações entre os diversos parâmetros que caracterizam o perfil de um isolador.

#### 4.4 Premissas para realização de ensaios para confirmação do isolador candidato

Os princípios gerais de utilização de ensaios de laboratório para a seleção e dimensionamento de isoladores são descritos na ABNT NBR IEC/TS 60815-1. O ensaio de laboratório é especificado em termos da tensão suportável de longa duração e do nível de severidade da poluição suportável requerida.

O problema principal é que não há métodos de ensaio disponíveis para isoladores poliméricos nas publicações IEC atuais. Assim sendo, os ensaios podem ser acordados entre o usuário e o fabricante, levando em conta as seguintes considerações:

- Para ensaios de camada sólida (geralmente em casos de poluição tipo A), os ensaios de isoladores com revestimento hidrofóbico podem requerer uma análise de desempenho de estado hidrofílico e hidrofóbico;
- Os tratamentos que permitem a aplicação da camada sólida podem afetar a hidrofobicidade;
- Para os ensaios de névoa salina (típicos no caso de poluição tipo B), técnicas padrão de pré-condicionamento podem destruir a hidrofobicidade temporariamente;
- Ensaios de determinação da suportabilidade onde ocorrem descargas disruptivas podem também destruir a hidrofobicidade, por exemplo, o método das descargas sucessivas.

#### 4.5 Exemplo da seleção de isoladores para um determinado ambiente

Para melhor compreensão da metodologia de seleção de um isolador para um determinado ambiente poluído um fluxograma do processo será apresentado na Figura 4, considerando a Abordagem 2 e um isolador de vidro ou porcelana.

### 5.0 - CUIDADOS ADICIONAIS NA SELEÇÃO DE ISOLADORES

#### 5.1 Impacto das condições ambientais [7]

O processo de formação de uma descarga disruptiva é causado inicialmente pela presença de depósitos umedecidos de poluição. A poluição pode ser pré-depositada antes da umidificação ou depositada simultaneamente com a umidificação (esta caracterização define a poluição do tipo A ou B). Assim sendo, é importante quando na especificação das condições do local obter-se além da severidade da poluição local e as condições de umidificação.

Fenômenos meteorológicos como chuva, névoa, neblina, gelo e neve podem umidificar os isoladores. Chuva possui tanto efeitos benéficos quanto prejudiciais, dependendo de sua intensidade e condutividade. Chuva com uma intensidade superior a 2 mm/min pode lavar a poluição, mas pode causar uma descarga disruptiva ao curto-circuitar diversas saias [8]. Chuva com menor intensidade umidifica lentamente a camada poluente e pode causar uma descarga disruptiva. Quando a condutividade da chuva aumenta, ela se torna mais prejudicial para os isoladores. Tanto a névoa quanto a neblina podem umidificar lentamente a camada poluente sobre os isoladores. A



névoa salina pode causar diretamente uma descarga disruptiva nos isoladores sem a necessidade de poluente pré-depositado.

A umidificação da camada poluente pode ocorrer também das seguintes maneiras: por absorção da umidade, condensação e precipitação. A absorção da umidade ocorre durante os períodos com umidade relativa elevada (>75%), quando a temperatura ambiente e do isolador são as mesmas. A condensação ocorre quando a umidade no ar condensa sobre a superfície cuja temperatura é inferior a do ponto de orvalho. Essa condição ocorre usualmente ao nascer do sol ou pouco antes [9].

Além disso, deve-se verificar a possibilidade de ocorrerem tempestades com água salgada (furacões, etc) e chuva ácida ou com elevada condutividade.

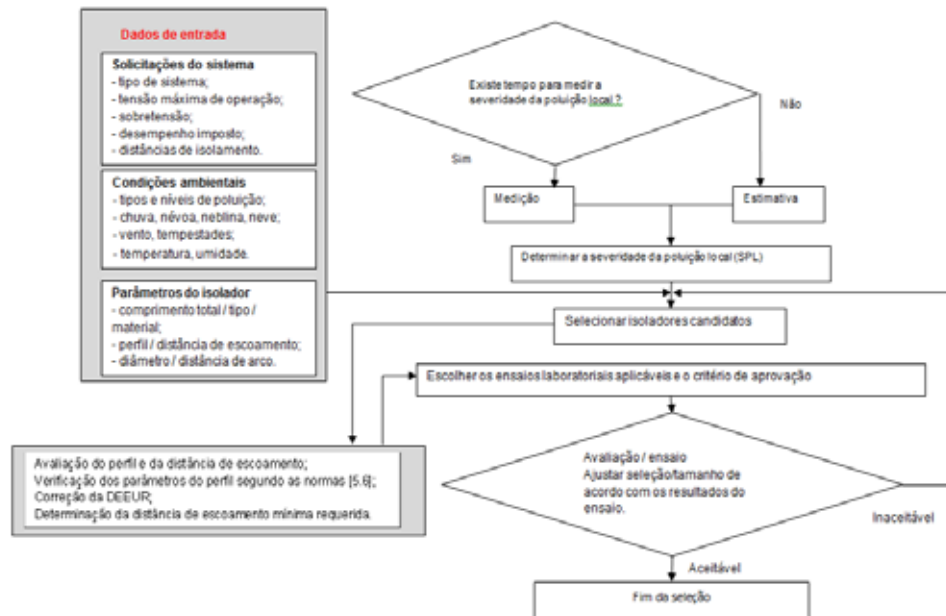


FIGURA 4 – Fluxograma para seleção de isolador de vidro ou porcelana segundo a Abordagem 2

## 5.2 Influência do arranjo com cadeias múltiplas [10]

Os resultados dos ensaios realizados (ver Figura 5) mostraram o efeito da cadeia dupla, com a redução na suportabilidade dielétrica sob poluição. Essa redução independe da modalidade de ensaio utilizada e da posição da cadeia.

O fator mais importante para uma cadeia dupla, além da distância de isolamento entre as pernas da cadeia, é a distância de escoamento específica unificada da cadeia. Pode-se observar nos ensaios realizados que o grau de suportabilidade sob poluição aumenta com o aumento da distância horizontal entre as saias dos isoladores depois o grau de poluição suportável permanece constante, independente do aumento da distância de isolamento.

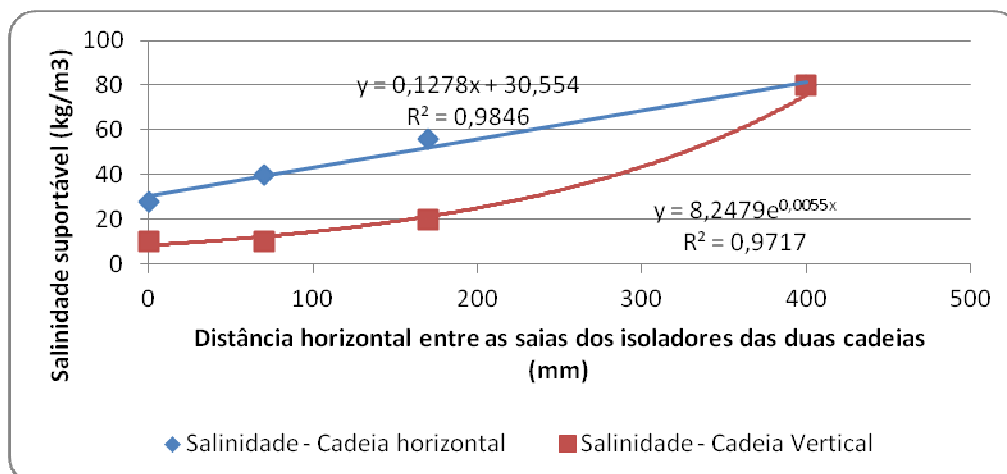


FIGURA 5 – Resultados de ensaio com uma cadeia dupla com 3 isoladores tipo bastão cada uma montada na posição horizontal e na posição vertical

### 5.3 Considerações quanto a distância de escoamento versus comprimento do isolador [3]

Tanto a escolha como o desempenho de um isolador para ambientes poluídos é frequentemente expressa somente em termos da distância de escoamento necessária para suportar as condições sob poluição com a tensão de operação do sistema. Isso pode levar a uma comparação de isoladores em termos da distância de escoamento necessária por unidade de tensão. Contudo, o uso da distância de escoamento sozinha para estabelecer regras de mérito não leva em consideração outros fatores que dependem da distância de escoamento disponível por unidade de comprimento do isolador. Por exemplo, uma cadeia com isoladores tipo disco com passo de 146 mm pode ter o desempenho similar sob poluição que uma cadeia, de mesmo comprimento, com isoladores tipo disco com passo de 170 mm com maior distância de escoamento, devido ao maior número de isoladores com passo de 146 mm na cadeia. Esse ponto merece ser levado em consideração quando da escolha de isoladores, principalmente para aplicações onde o comprimento do isolador é uma restrição de menor importância.

Reciprocamente, se o comprimento do isolador ou sua altura constituem em um elemento de restrição importante, o aumento da distância de escoamento no espaço disponível pode não fornecer uma completa melhoria esperada no desempenho, devido à reduzida eficiência do perfil. Adicionalmente, para materiais poliméricos, tanto um aumento na distância de escoamento como uma redução no espaçamento entre saias pode resultar em um agravamento dos efeitos do envelhecimento.

### 5.3 Considerações quanto a distância entre saias

Distância mínima entre saias é uma das mais importantes características para avaliação do perfil do isolador. Arcos entre saias por pequenos espaçamentos entre elas podem impossibilitar qualquer esforço para melhorar o desempenho pelo aumento da distância de escoamento.

Deve-se verificar também a relação entre a distância de escoamento e a distância entre saias consecutivas, mesmo nos perfis com saias alternadas, pois esta avaliação diz respeito ao detalhamento do risco de arcos pontuais quando ocorrem bandas secas ou perda da hidrofobicidade, sendo também importante para evitar a poluição localizada nos pontos mais profundos e estreitos das saias.

## 6.0 - CONCLUSÃO

A compreensão dos conceitos apresentados nas três normas já publicadas permitirá otimizar o desenvolvimento de um projeto de uma linha de transmissão ou rede de distribuição e fazer a escolha do isolador mais adequado para um determinado local, reduzindo os custos com manutenção posterior devido à ocorrência de descargas disruptivas pela poluição ou multas pela Aneel devido ao tempo de interrupção no fornecimento de energia. Cabe ressaltar que a existência de uma norma para o uso de isoladores poliméricos em ambientes poluídos se constitui em um enorme avanço tecnológico e permitirá uma expansão no uso deste tipo de isolador.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. Gleizer, A.L. Tan, J.H. Mason, "Electrolytic corrosion as an adjunct to DC tracking and erosion on insulators", Fifth International Conference on Dielectric Materials, Measurements and Applications, 1988
- [2] EPRI Transmission Line Reference Book 345 kV and above, Second Edition, 1982.
- [3] ABNT NBR IEC/TS 60815-1, Seleção e dimensionamento de isoladores para alta tensão sob condições de poluição. Parte 1: Definições, informações e princípios gerais.
- [4] ABNT NBR IEC/TS 60815-2, Seleção e dimensionamento de isoladores para alta tensão para uso sob condições de poluição - Parte 2: Isoladores de porcelana e de vidro para sistemas de corrente alternada.
- [5] ABNT NBR IEC/TS 60815-3, Seleção e dimensionamento de isoladores para alta tensão para uso sob condições de poluição - Parte 3: Isoladores poliméricos para sistemas de corrente alternada.
- [6] CIGRÉ Taskforce 33.04.01 – "Polluted insulators: A review of current knowledge", CIGRÉ brochure n° 158-2000
- [7] C. Lumb: "2nd Draft of Part 1", artigo apresentado na reunião do 36-WG11, Renardières, 04/2001
- [8] D. Wu, "Comments and proposed changes in text", artigo apresentado na reunião do 36-WG11, Milão, 10/2001
- [9] G. Riquel, E. Spangerberg, P. Mirabel e J. Y. Saison: "Wetting processes of pollution layer on high voltage glass insulators", Publicação EDF n° 96NR00045, 1995
- [10] W. Petrusch: "Insulation performance of long rod double chain insulations in artificial pollution tests", Relatório Técnico FGH n° 1-271, 1990