



**Universidade Federal da Paraíba  
Centro de Energias Alternativas e Renováveis  
Departamento de Engenharia Elétrica**

**ANDERSON BERNARDINO OLIVEIRA**

**PROPOSTA DE DISPOSITIVO PARA IDENTIFICAÇÃO DE FALHAS EM  
ISOLADORES DE PINO APLICADOS A REDES DE MÉDIA TENSÃO**

**João Pessoa - PB  
Junho de 2018**

**ANDERSON BERNARDINO OLIVEIRA**

**PROPOSTA DE DISPOSITIVO PARA IDENTIFICAÇÃO DE FALHAS EM  
ISOLADORES DE PINO APLICADOS A REDES DE MÉDIA TENSÃO**

**Trabalho de Conclusão de Curso submetido  
ao Departamento de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal da Paraíba como  
parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do título de Engenheiro Elétrico.**

**João Pessoa - PB  
Junho de 2018**

Catálogo na publicação  
Seção de Catalogação e Classificação

O48p Oliveira, Anderson Bernardino.  
Proposta de dispositivo para identificação de falhas em  
isoladores de pino aplicados a redes de média tensão /  
Anderson Bernardino Oliveira. - João Pessoa, 2018.  
44 f.

Orientação: Clivaldo Silva de Araujo.  
Monografia (Graduação) - UFPB/CEAR.

1. Isoladores de pino. 2. Distribuição. 3. Falta. I. de  
Araujo, Clivaldo Silva. II. Título.

UFPB/BC

**ANDERSON BERNARDINO OLIVEIRA**

**Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.**

**Aprovado por:**

---

**Prof. Dr. Clivaldo Silva de Araújo**  
**(Orientador Docente)**  
**Universidade Federal da Paraíba**

---

**Prof. Dr. Rogério Gaspar de Almeida**  
**(Avaliador)**  
**Universidade Federal da Paraíba**

---

**Prof. Dr. Yuri Percy Molina Rodriguez**  
**(Avaliador)**  
**Universidade Federal da Paraíba**

**Paraíba – PB**  
**Junho – 2018**

## **DEDICATÓRIA**

Gostaria de dedicar esse trabalho em memória de meu pai Afonso Oliveira de Assis que apesar de ter sido um pouco ausente na minha vida, sempre torceu pelas minhas vitórias.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por sempre guiar-me em todas as etapas da minha vida e acima de tudo dar-me força e saúde para continuar.

Minha esposa Thalita Ramana pelo seu amor, amizade e paciência ao longo de todos esses anos juntos.

A minha mãe Maria Gorete que apesar de todas as dificuldades que passamos sempre me direcionou e ensinou os caminhos corretos da vida.

Ao meu amigo Petronio de Oliveira pelos seus ensinamentos, por acreditar sempre em mim, e por toda força que me deu nos últimos anos.

A todos os funcionários e professores do CEAR que colaboraram para minha formação profissional.

Ao meu orientador Clivaldo Silva de Araújo pela dedicação e apoio nesse trabalho.

Aos gestores e colegas da Energisa Paraíba pela oportunidade e apoio.

A todos os meus familiares e amigos que me ajudaram de alguma forma nessa trajetória e que sempre torcem pelo meu sucesso. Obrigado a todos!

## RESUMO

A distribuição de energia elétrica torna-se a cada ano algo essencial para o crescimento econômico-social, nesse sentido, a busca por níveis de tensão mais estáveis e menores ocorrências de descontinuidade são sempre preocupações das concessionárias de energia elétrica.

Uma das maiores causas da descontinuidade das redes de distribuição em tensões de 13,8KV são as falhas nos isoladores de pino, elementos que tem a finalidade de sustentar/apoiar os condutores e também evitar contato entre o potencial da linha e o terra, originadas pelo fim da vida útil dos isoladores de pino, poluição por partículas suspensas no ar ou por vandalismo. Geralmente quando ocorre o desarme da proteção de um circuito motivado pela falha de algum isolador, na maioria dos casos, não altera a estética do material além de ter sua ocorrência aleatória e por vezes momentânea, ou seja, pode ocorrer o problema e depois cessar repentinamente, por esse motivo não é possível ser identificada nas inspeções visuais emergenciais, aumentando o tempo de reenergização do sistema devido à dificuldade de encontrar a falha.

O presente trabalho busca compreender como ocorre o fenômeno bem como quais técnicas são utilizadas atualmente para mitigar os efeitos que o isolador causa aos indicadores de qualidade. A partir desse conhecimento será proposto um dispositivo que terá como objetivo sinalizar visualmente aqueles isoladores que falharam no circuito, o que diminuirá o tempo de recomposição das redes afetadas pela anomalia e auxiliará nas inspeções preventivas dos técnicos.

**Palavras-Chaves:** Isolador de pino, Distribuição, Falta, Inspeção.

## ABSTRACT

The distribution of electric energy becomes essential for economic and social growth every year. In this sense, the search for more stable of voltage levels and smaller occurrences of discontinuity are always the concerns of electric power concessionaires.

One of the major causes of the disruption of distribution networks at 13.8KV voltages is the failure of the pin insulation, which has the purpose of supporting / supporting the conductors and also avoiding contact between the potential of the line and the earth, caused by end of the life of the pin insulators, pollution by airborne particles or by vandalism. Usually when disarming the protection of a circuit motivated by the failure of some insulator, in most cases, it does not alter the aesthetics of the material besides having its occurrence random and sometimes momentary, that is, the problem can occur and then suddenly cease , therefore it is not possible to be identified in the emergency visual inspections, increasing the time of reenergization of the system due to the difficulty of finding the fault.

The present work seeks to understand how the phenomenon occurs as well as what techniques are currently used to mitigate the effects it causes to quality indicators. From this knowledge will be proposed a device that will aim to visually signal those isolators that have failed in the circuit, which will reduce the time of recomposition of the networks affected by the anomaly and will aid in the preventive inspections of the technicians.

**Keywords:** Pin insulation, Distribution, Lack, Inspection.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ranking de falhas de alimentadores 2017 .....	14
Figura 2 – Esquemático da problemática .....	15
Figura 3 – Exemplo de isoladores que apresentaram vazamento de corrente.....	15
Figura 4 – Diagrama de falta simétrica .....	18
Figura 5 – Diagrama de faltas assimétricas.....	19
Figura 6 – Representação das componentes simétricas.....	20
Figura 7 – Religador automático.....	24
Figura 8 – Isolador de pino em estrutura de concreto .....	25
Figura 9 – Inspeção de isoladores com uso de rádio interferência.....	27
Figura 10 – Inspeção de isoladores com uso de Ultrassom.....	28
Figura 11 – Inspeção de isoladores com uso de Termovisor .....	29
Figura 12 – Técnica de localização de falha através de impedância aparente .....	31
Figura 13 – Circuito elétrico equivalente .....	32
Figura 14 – Circuito equivalente com inserção da proposta .....	34
Figura 15 - Sensor de falha para isolador de pino.....	36
Figura 16 - Sensor de falha para isolador de pino instalado em estrutura.....	36
Figura 17 - Gráfico da frequência de falha de isolamento das amostras 1,2,4 e 5 .....	39

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Ranking de falhas de alimentadores 2017 .....	13
Tabela 2 – Especificações elétricas de um isolador de pino .....	25
Tabela 3 – Frequência de falha de isolamento da amostra 1,2,4 e 5 .....	38

## **LISTA DE SIGLAS**

EPB – Energisa Paraíba distribuidora de energia S/A

SEP – Sistema Elétrico de Potência

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

COI – Centro de Operações Integradas

DEC - Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora

FEC - Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora

TC – Transformador de Corrente

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	Objetivo geral .....	16
1.2	Objetivos específicos .....	16
1.3	Estrutura do trabalho .....	17
<b>2</b>	<b>BASE CONCEITUAL.....</b>	<b>18</b>
2.1	Curto circuito no sistema elétrico de potência.....	18
2.2	Componentes simétricas de fasores assimétricos .....	19
2.3	Redes de sequência e impedâncias de sequência.....	21
2.4	Determinação da corrente de falta fase-terra .....	22
2.5	Religador de linha.....	23
2.6	Isoladores de pino .....	24
<b>3</b>	<b>TÉCNICAS DE IDENTIFICAÇÃO DE FALHA EM ISOLADORES.....</b>	<b>26</b>
3.1	Inspeções preventivas utilizando rádio frequência.....	26
3.2	Inspeções preventivas utilizando ultrassom .....	27
3.3	Inspeções preventivas utilizando termovisor .....	28
3.4	Inspeções corretivas utilizando método da impedância aparente.....	30
<b>4</b>	<b>ANÁLISE ELÉTRICA DAS FALHAS EM ISOLADORES DE PINO .....</b>	<b>32</b>
4.1	Modelamento do problema.....	32
4.2	Identificação de isoladores de pino danificados via corrente de fuga .....	33
<b>5</b>	<b>PROPOSTA DE PROTÓTIPO .....</b>	<b>35</b>
5.1	Sensor de falha para isoladores de pino.....	35
5.2	Definição da corrente de falha em isoladores de pino.....	37
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>41</b>
6.1	Trabalhos futuros .....	42
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>43</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As concessionárias de energia elétrica desempenham um papel fundamental na vida e no crescimento econômico-social de uma região. Para que isso ocorra de maneira organizada e efetiva, às mesmas são fiscalizadas pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), a qual estabelece diversas metas para as empresas distribuidoras, sendo as principais relacionadas à qualidade do serviço que são: o DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e o FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) (ANEEL, 2018). Como as redes de distribuição atualmente são em sua maioria aéreas, torna-as bastante susceptíveis a poluição, fenômenos climáticos, interferência de animais ou mesmo vandalismo, fatores que causam mau funcionamento do sistema e as vezes sua interrupção.

De acordo com os dados obtidos da Energisa Paraíba (EPB) (COI, 2017) e expostos na tabela 1 e na figura 1, um dos maiores causadores de descontinuidade em redes de distribuição são as falhas em isoladores – elemento da rede que tem a função de apoiar os condutores e evitar contato entre o potencial deste e o “terra” presente na estrutura.

Tabela 1 – Ranking de falhas de alimentadores em 2017

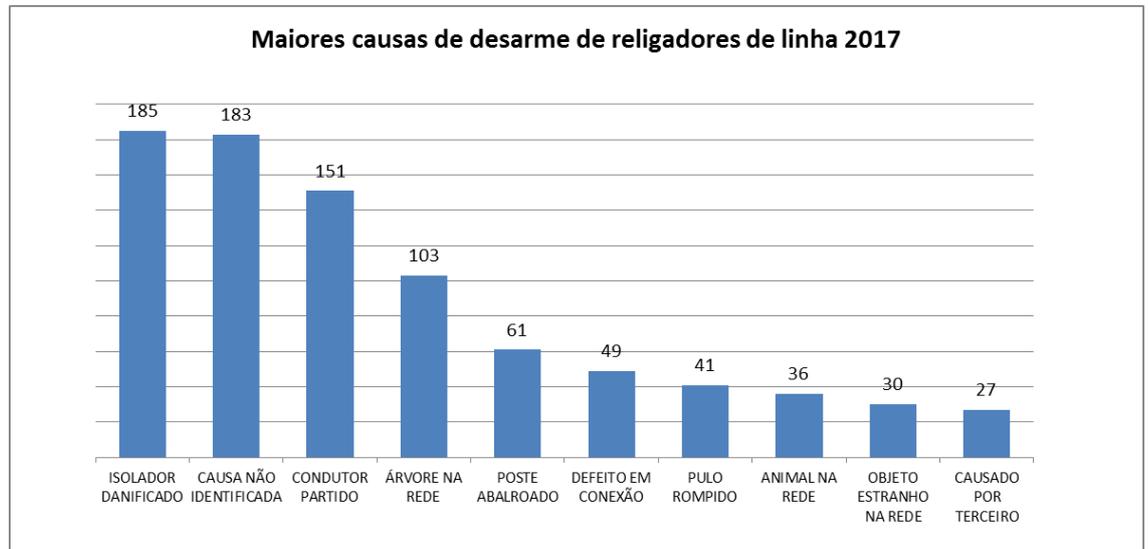
CAUSA DA SAIDA DO CIRCUITO	QUANT.	%
ISOLADOR DANIFICADO	185	16,3%
CAUSA NÃO IDENTIFICADA <sup>1</sup>	183	16,1%
CONDUTOR PARTIDO	151	13,3%
ÁRVORE NA REDE	103	9,1%
POSTE ABALROADO	61	5,4%
DEFEITO EM CONEXÃO	49	4,3%
PULO ROMPIDO <sup>2</sup>	41	3,6%
ANIMAL NA REDE	36	3,2%
OBJETO ESTRANHO NA REDE	30	2,6%
CAUSADO POR TERCEIRO	27	2,4%

Fonte: Energisa Paraíba

1 Classificação usada quando não foi possível determinar a causa da falha

2 Termo utilizado para as situações de jumper partido

Figura 1 – Ranking de falhas de alimentadores em 2017



Fonte: Energisa Paraíba

Os motivos pelos quais os isoladores causam uma falha em um circuito são diversos, conforme exemplos abaixo:

- Fim da vida útil do isolador;
- Poluição do mesmo devido a partículas suspensas no ar;
- Efeitos climáticos como maresia e umidade;
- Vandalismo

A figura 2 destaca uma situação real de campo onde o isolador estourou e ocasionou um curto circuito da rede, que resultou na sensibilização da proteção do religador de linha da subestação. Contudo, esta figura dá uma ideia geográfica da problemática em questão, pois a equipe necessitou realizar a inspeção visual a noite e por extensão de aproximadamente 3km:

Figura 2 – Esquemático da problemática



Fonte: Energisa Paraíba

Quando ocorre uma falha em um isolador e a proteção atua, o Centro de Operações Integradas (COI) imediatamente envia equipes de campo para inspecionar o trecho a fim de identificar a anomalia. Entretanto é comum que o isolador que ocasionou a falha não esteja danificado visivelmente e a equipe não consiga determinar o problema. Isso causa uma sequência de testes até que seja encontrado o isolador que está fechando curto com a terra. É possível que o isolador ainda pare de apresentar o comportamento indevido, e isso faz com que o COI reenergize o circuito e o mesmo aceite. Nessas situações esse evento é classificado como “causa não identificada”. Na figura 3 são apresentados alguns exemplos de isoladores retirados da linha que tiveram comportamento descrito anteriormente.

Figura 3 – Exemplo de isoladores que apresentaram fuga de corrente



Fonte: Aatoria

Atualmente têm-se alguns tipos de inspeções preventivas utilizando equipamentos de rádio frequência, ultrassom, ou termovisores que detectam isoladores que apresentam problemas de isolamento. Entretanto, além de possuírem um custo elevado não são assertivos devido as grandes interferências externas. Por outro lado, quando ocorre a falha do isolador e consequentemente o seccionamento da rede, não é mais possível utilizar os equipamentos citados. Nessas situações o método que norteia os operadores do COI e as equipes de campo é a da *impedância aparente*, técnica que mediante corrente de curto circuito dar subsidio de estimar a possível região da falta. Este método apresenta moderado desempenho, porém o tempo para encontrar o defeito ainda é bastante alto, com grande contribuição da inspeção emergencial para localização do isolador defeituoso em campo. Das ocorrências de isoladores danificados expostos no gráfico da figura 1, o tempo médio de identificação do isolador defeituoso é de aproximadamente 1h 45min.

Neste sentido, a busca por diferentes métodos de inspeção e/ou dispositivos que auxiliem na detecção desses isoladores de pino com problemas são de fundamental importância para a melhoria contínua dos indicadores, tais ações são objetos desse trabalho.

## **1.1 Objetivo geral**

Este trabalho tem como objetivo analisar e propor um protótipo para identificação de falhas em isoladores de pino aplicados a redes de média tensão.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Apresentar os principais métodos de identificação de isoladores de pino danificados tanto em inspeções preventivas quanto em inspeções corretivas;
- Compreender as correntes envolvidas no evento bem como suas magnitudes;

- Propor protótipo que auxilie na identificação mais rápida dos isoladores defeituosos ou mesmo em inspeções preventivas quando a corrente de fuga é de intensidade elevada, mas não suficiente para desarmar o circuito.

### **1.3 Estrutura do trabalho**

O presente trabalho está estruturado da seguinte forma:

- No capítulo 2 será realizada uma revisão de alguns conceitos teóricos que são necessários para uma melhor compreensão da proposta final e para o entendimento do assunto como um todo;
- No capítulo 3 serão apresentados alguns tipos de inspeções preventivas desenvolvidas atualmente para identificação de isoladores de pino danificados, e também será explicada a técnica mais utilizada para identificar os isoladores defeituosos durante uma falta.
- No capítulo 4 serão expostos os detalhes estruturais do problema do ponto de vista elétrico, a partir do qual dará subsidio para proposta do protótipo.
- E por fim, será definido o limiar da corrente de falha em isoladores de pino e detalhes do sensor de falha para isolador de pino.

## 2 BASE CONCEITUAL

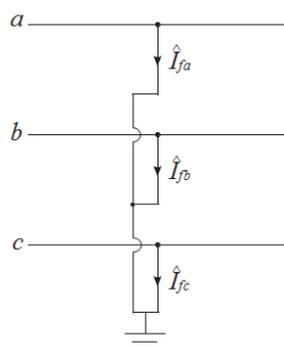
Os isoladores de pino quando apresentam problemas de isolamento ocasionam fechamento do potencial da rede com a terra, esse fato faz com que o sistema (dependendo da distância do ponto defeituoso até a subestação e da intensidade da falha do isolamento), entre em ciclos de religamento ou até mesmo haja o desarme do circuito, isto se deve ao fato de circular uma corrente de curto circuito. Contudo, neste capítulo será abordada como acontece e é calculado as correntes de curto circuito motivadas por falhas em isoladores de pino.

### 2.1 Curto circuito no sistema elétrico de potência

Um curto circuito é quando dois ou mais condutores com potenciais diferentes entram em contato direto ou indireto através de uma impedância ou não (ZANETTA, 2006). Estas falhas ocorrem de maneira aleatória no sistema elétrico de potência (SEP) e são motivadas por diversos fatores externos como: problemas de isolamento, manutenção, acidente com animais, vandalismo, entre outros (KINDERMANN, 1992).

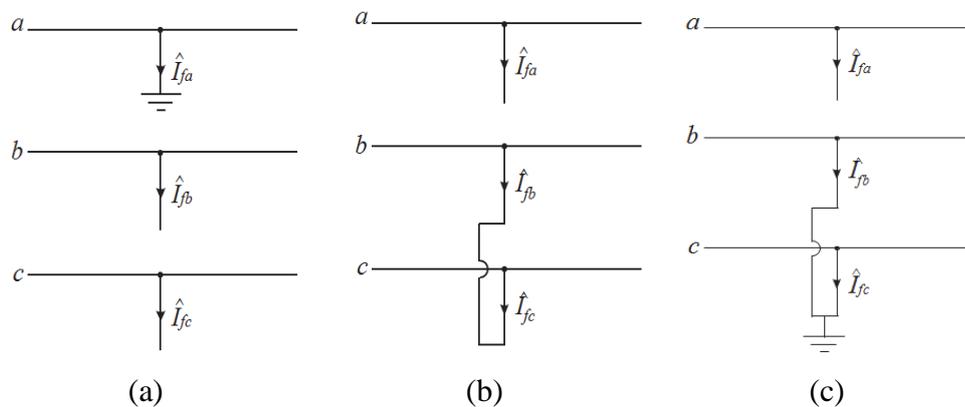
Os curtos circuitos podem ser: simétricos (quando se tem o envolvimento simultâneo de todas as fases e que conduzem a mesma corrente de curto) ou assimétricos (quando uma ou duas fases interagem entre si) (STEVENSON, 1986). Nas figuras 4 e 5 são apresentados os principais curtos circuitos no SEP.

Figura 4 – Diagrama de falta simétrica



Fonte: STEVENSON, 1986

Figura 5 – Diagramas de faltas assimétricas



Fonte: STEVENSON, 1986

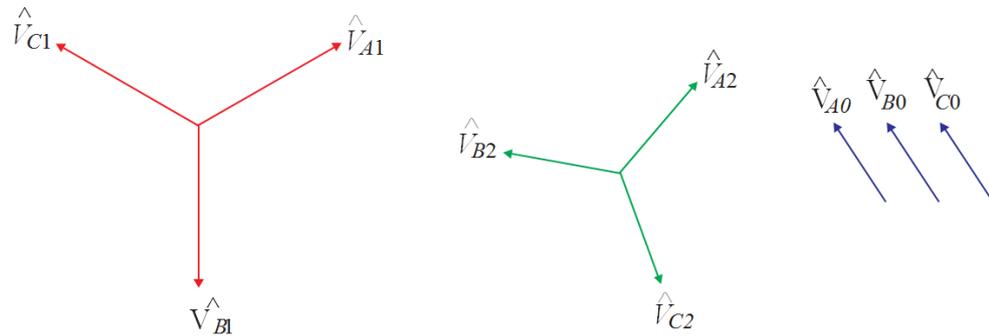
A maioria das falhas que ocorre no SEP são de natureza assimétrica, isto é compreensível devido a natureza física com que elas acontecem, ainda dentro desse universo o que mais se destaca é o curto circuito monofásico ilustrado na figura 5a. Por outro lado, as falhas simétricas são as mais raras de ocorrer no sistema, isto porque também apresentam uma natureza física muito singular com baixa probabilidade de acontecer (KINDERMANN, 1992).

O modelo que mais se aproxima de falha em isoladores de pino em redes de distribuição é o curto circuito fase-terra indicado na figura 5a. Como o modelo de interesse tem características assimétricas será necessário recorrer ao Teorema de Fortescue (STEVENSON, 1986) para se obter o valor da corrente de curto circuito.

## 2.2 Componentes simétricas de fasores assimétricos

De acordo com o Teorema de Fortescue para um sistema trifásico, três fasores desequilibrados quaisquer podem ser decompostos em três sistemas equilibrados de fasores, sendo um conjunto em sequência positiva iguais em módulo e defasados de  $120^\circ$ , outro em sequência negativa igual em módulo e defasados de  $120^\circ$ , e um último chamado de sequência zero onde os fasores são iguais em módulo e com defasagem nula (STEVENSON, 1986). A figura 6 ilustra os conjuntos de fasores da formulação de Fortescue.

Figura 6 – Representação das componentes simétricas



Fonte: STEVENSON, 1986

Como forma de simplificar as expressões e os cálculos envolvendo as componentes simétricas, surge um operador definido como 'a' que tem valor de  $1\angle 120^\circ$  (STEVENSON, 1986). Então para os fasores assimétricos de tensão tem-se a seguinte relação:

$$\begin{bmatrix} \hat{V}_A \\ \hat{V}_B \\ \hat{V}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{V}_{A0} \\ \hat{V}_{A1} \\ \hat{V}_{A2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Da expressão 1 define-se a matriz dos operadores 'a' como T, neste caso isolando as componentes simétricas e fazendo o produto da matriz dos fasores assimétricos com a matriz  $T^{-1}$  será obtido as seguintes equações:

$$T^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\hat{V}_{A0} = \frac{1}{3} (\hat{V}_A + \hat{V}_B + \hat{V}_C) \quad (3)$$

$$\hat{V}_{A1} = \frac{1}{3} (\hat{V}_A + a\hat{V}_B + a^2\hat{V}_C) \quad (4)$$

$$\hat{V}_{A2} = \frac{1}{3}(\hat{V}_A + a^2\hat{V}_B + a\hat{V}_C) \quad (5)$$

De maneira análoga pode ser encontrado as componentes simétricas da corrente:

$$\hat{I}_{A0} = \frac{1}{3}(\hat{I}_A + \hat{I}_B + \hat{I}_C) \quad (6)$$

$$\hat{I}_{A1} = \frac{1}{3}(\hat{I}_A + a\hat{I}_B + a^2\hat{I}_C) \quad (7)$$

$$\hat{I}_{A2} = \frac{1}{3}(\hat{I}_A + a^2\hat{I}_B + a\hat{I}_C) \quad (8)$$

### 2.3 Redes de sequência e impedâncias de sequência

Para sistemas desequilibrados as correntes de sequência que circulam serão proporcionais à queda de tensão e a impedância daquela parte do circuito, esta poderá ser igual ou não a impedância do sistema equilibrado ou mesmo das outras impedâncias de sequência.

A impedância de um circuito, quando estão circulando apenas correntes de sequência positiva, é chamada *impedância de sequência positiva*. Analogamente, quando somente correntes de sequência negativa estão presentes, a impedância é dita *impedância de sequência negativa*, do mesmo modo para corrente de sequência zero é chamada de *impedância de sequência zero* (STEVENSON, 1986).

Quando se deseja analisar uma falta assimétrica é necessário o conhecimento das suas componentes simétricas, que são obtidas realizando o arranjo das impedâncias de sequência em um único circuito nomeado de *rede de sequência*, ela é dependente de qual tipo de falta está sendo analisada e são denominadas de *redes de sequência positiva, negativa e zero* (STEVENSON, 1986).

## 2.4 Determinação da corrente de falta fase-terra

Em (9) é apresentado o equacionamento utilizado para análise e determinação das correntes de curto circuito em sistemas elétricos utilizando o equivalente de Thevenin, considerando as cargas alimentadas passivas, ou seja, não há contribuição de corrente de curto circuito por parte da carga (STEVENSON, 1986).

$$\begin{bmatrix} \hat{V}_{A0} \\ \hat{V}_{A1} \\ \hat{V}_{A2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \hat{V}_f \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{I}_{A0} \\ \hat{I}_{A1} \\ \hat{I}_{A2} \end{bmatrix} \quad (9)$$

A equação 9 desconsidera o efeito do acoplamento entre as linhas, sendo  $\hat{V}_f$  a tensão pré-falta e  $Z_0$ ,  $Z_1$  e  $Z_2$  as impedâncias de Thevenin das redes de sequência.

Para a condição ilustrada na Figura 5a as seguintes considerações devem ser adotadas:

$$\hat{I}_B = 0 \quad \hat{I}_C = 0 \quad \hat{V}_A = 0 \quad (10)$$

Substituindo as condições anteriores nas componentes simétricas da corrente:

$$\begin{bmatrix} \hat{I}_{A0} \\ \hat{I}_{A1} \\ \hat{I}_{A2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{I}_A \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

A Equação 11 implica em  $\hat{I}_{A0} = \hat{I}_{A1} = \hat{I}_{A2} = \frac{1}{3}\hat{I}_A$ . Substituindo estas correntes na Equação 9 temos que:

$$\hat{V}_{A0} = -Z_0\hat{I}_{A0} \quad (12)$$

$$\hat{V}_{A1} = \hat{V}_f - Z_1\hat{I}_{A1} \quad (13)$$

$$\hat{V}_{A2} = -Z_2 \hat{I}_{A2} \quad (14)$$

Da equação 1 temos que:

$$\hat{V}_A = \hat{V}_{A0} + \hat{V}_{A1} + \hat{V}_{A2} \quad (15)$$

Logo:

$$\hat{V}_A = -Z_0 \hat{I}_{A0} + \hat{V}_f - Z_1 \hat{I}_{A1} - Z_2 \hat{I}_{A2} = 0 \quad (16)$$

Portanto:

$$\hat{I}_{A1} = \frac{\hat{V}_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \quad \text{e} \quad \hat{I}_A = 3\hat{I}_{A1} \quad (17)$$

## 2.5 Religador de linha

Apesar de ser possível, mediante equacionamento desenvolvido anteriormente, a análise e o cálculo da corrente de curto circuito quando um isolador tem seu isolamento comprometido, na prática essa informação é facilmente adquirida através da medição da grandeza utilizando um amperímetro auxiliado por um transformador de corrente (TC), tal dispositivo é embarcado num importante equipamento de distribuição, o religador de linha.

Religadores linha ou automáticos (figura 7) são equipamentos de interrupção da corrente elétrica dotados de uma determinada capacidade de repetição em operações de abertura e fechamento de um circuito, durante a ocorrência de um defeito (FILHO, 2011).

Os religadores têm larga aplicação em circuitos de distribuição das redes aéreas das concessionárias de energia elétrica, por permitir que os defeitos transitórios sejam eliminados sem a necessidade de deslocamento de pessoal de manutenção para percorrer o alimentador em falta. Esses equipamentos não devem ser aplicados em instalações industriais ou

comerciais, onde os defeitos são quase sempre de natureza permanente, ao contrário das redes aéreas urbanas e rurais (FILHO, 2011).

Eles têm a capacidade de interromper altos valores de corrente devido ao seu tanque ser constituído de óleo ou vácuo, são comandados a distância e se ligado mais de um circuito devem apresentar seletividade entre si.

Figura 7 – Religador automático



Fonte: Noja Power

## 2.6 Isoladores de pino

Os isoladores são elementos dotados de propriedades mecânicas capazes de suportar os esforços produzidos pelos condutores. Eletricamente, exercem a função de isolar os condutores da rede primária das estruturas de sustentação que estão geralmente no potencial da terra (FILHO, 2011).

O isolador mais utilizado na construção de redes é do tipo pino também chamado de isolador de apoio, ele tem a função de fixar os condutores impedindo deslocamentos dos mesmos sobre eles, esta operação é realizada com fio de alumínio recozido de boa resistência mecânica e bastante flexível. Esses isoladores são instalados na estrutura com o auxílio de um pino de aço e seu corpo possui várias “saías” que tem a função de aumentar a área de escoamento e dificultar trilhamentos (fluxo de corrente entre o condutor e a estrutura) superficial no isolador. Na figura 8 têm-se a montagem de um isolador de pino em estrutura de concreto.

Figura 8 – Isolador de pino em estrutura de concreto



Fonte: Autoria

Esses elementos são fabricados para diversos níveis de tensão de operação e podem ser construídos de diferentes materiais (porcelana, vidro ou polimérico), seguindo sempre exigências da norma NBR 5389, que regulamenta parâmetros mecânicos e elétricos além de indicar valores típicos de funcionamento em condições normais e adversas (FILHO, 2011). Na tabela 2 é possível observar as especificações técnicas fornecidas pelos fabricantes.

Tabela 2 – Especificações elétricas de um isolador de pino

TENSÃO MÁXIMA DO ISOLADOR	CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS					DISTÂNCIA DE ESCOAMENTO MÍNIMA (mm)
	TENSÃO MÍNIMA SUPORTAVEL (kV)		TENSÃO MÍNIMA DE PERFURAÇÃO EM ÓLEO (kV)	RADIOINTERFERÊNCIA A 500 kHz COM IMPEDÂNCIA DE 300		
	EM FREQUÊNCIA INDUSTRIAL SOB CHUVA DURAÇÃO 1 MIN.	DE IMPULSO ATMOSFÉRICO A SECO (kV)		TENSÃO NOMINAL APLICADA NO ENSAIO (kV)	TENSÃO MÁXIMA (kV)	
15	34	110	195	10	100	280
25	50	150	145	25	250	521

Fonte: Energisa Paraíba

### **3 TÉCNICAS DE IDENTIFICAÇÃO DE FALHA EM ISOLADORES**

Com o avanço da tecnologia importantes técnicas de detecção de isoladores com algum tipo de falha estão surgindo ou mesmo sendo aprimoradas, tanto no ponto de vista preventivo quanto do ponto de vista corretivo. Neste contexto, nos próximos itens desse capítulo serão descritos as principais técnicas utilizadas atualmente.

#### **3.1 Inspeções preventivas utilizando rádio frequência**

As descargas parciais e efeito corona provocam o surgimento de ondas eletromagnéticas de frequência característica que viajam em todas as direções do espaço a partir do ponto de origem da geração. Essa informação propaga-se dependendo de sua frequência e potência e podem ser captadas a certas distâncias (MUHLEN, 2002).

A rádio interferência em redes de corrente alternada é geralmente definida pelo espectro de frequência, onde a rádio interferência é relacionada com a distância ao ponto de recepção do sinal e a sua distribuição estatística, na qual se deseja seu comportamento durante um determinado período (CLAYTON, 2004).

Nas redes de distribuição as principais fontes que geram rádio interferência, são pequenos gaps nas estruturas não aterradas e as descargas internas aos isoladores, efeitos denominados de centelhamento. Para a distribuição, aproximadamente 95% das emissões de radio interferência são originadas por descargas parciais internas ou externas e que podem ser detectadas nas faixas de frequência entre 1 a 1000MHz, por outro lado, o efeito corona origina cerca de 5% das emissões de rádio frequência nas redes de distribuição, isto é bastante salutar devido aos níveis baixos de tensão (LOFTNESS, 2003).

A recepção do sinal é realizada por uma antena que pode ser do tipo: bi cônico, radial ou parabólica, nas faixas de frequência entre 30 a 300MHz. Os sinais são armazenados e analisados por um processador de sinais que tem como funcionamento principal a realização de cálculos estatísticos, transformadas de Fourier e transformações de tempo em frequência (SHIHAB; WONG, 2000).

Uma desvantagem desse método é que o equipamento ainda capta muita interferência do ambiente, fazendo com que as leituras sejam alteradas, outro problema é a sensibilidade do equipamento que não consegue identificar a fonte dos centelhamentos e sim a direção das ondas eletromagnéticas percebidas, e por fim esta técnica obviamente não pode ser aplicada em circuitos desenergizados. Na figura 9 tem-se a ilustração do uso dessa técnica.

Figura 9 – Inspeção de isoladores com uso de rádio frequência



Fonte: (ALESSI; OGAWA, 2010)

### 3.2 Inspeções preventivas utilizando ultrassom

Os isoladores com falha por descargas parciais, corona, arcos ou trilhamentos, produzem ondas sonoras na faixa do ultrassom (som com frequências acima da percebida pelo ser humano). Este fenômeno possibilita através de um equipamento de ultrassom que utilizando transdutores piezelétricos e um circuito eletrônico a detecção e a conversão de um sinal de áudio de alta frequência em um sinal audível que indica que naquela direção existe uma fonte de sinal.

Na figura 10 observa-se exemplo de uso dessa técnica, onde tipicamente os equipamentos que são utilizados nessas inspeções possuem sensibilidade entre -10 dBu a 120 dBu e tem frequência de operação de 16KHz até 190KHz, são dotados de uma antena parabólica direcional que possibilita limitar o local de geração do sinal na estrutura.

O trabalho realizado pelas empresas LACTEC e COPEL indicou que numa amostragem de 728 isoladores de pino cerâmicos, constatou-se que a intensidade de ultrassom confiável para se retirar isoladores de campo é de 7dBu (KOWALSKI; MACHADO; FERNANDEZ; BORGES, 2006).

Apesar de ser uma técnica com relativa assertividade e segura do ponto de vista de que o electricista a executa fora da área de risco da rede elétrica, ela ainda se mostra pouco interessante, pois é dependente de uma boa experiência do electricista inspetor, não consegue indicar exatamente qual isolador está apresentando a falha, e ainda tem muitos problemas relacionados às interferências do ambiente nas leituras.

Figura 10 – Inspeção de isoladores com uso de Ultrassom



Fonte: <https://www.sonotec.de/produkte/vorbeugende-instandhaltung/anwendungen/detektion-von-teilentladungen/> acessado 09 de maio de 2018.

### 3.3 Inspeções preventivas utilizando termovisor

A temperatura é uma variável essencial a ser controlada em qualquer processo produtivo, é difícil encontrar exemplos onde o aquecimento ou mesmo o resfriamento não sejam importantes. Por definição a temperatura é o grau de agitação dos átomos em um

determinado material, quando dois corpos de temperaturas diferentes estão em contato ocorre à transferência espontânea de energia térmica entre os mesmos, essa transferência pode ocorrer por condução, convecção ou por radiação (CRONHOLM, 2014).

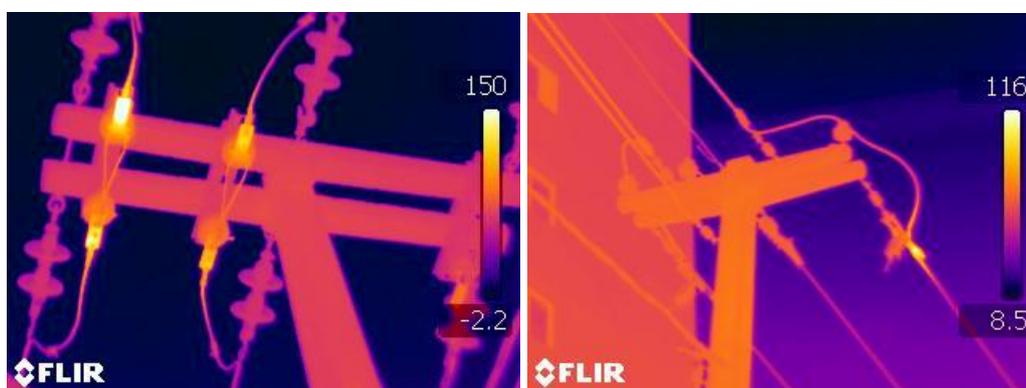
Os isoladores com falha de isolamento irão possibilitar passagem de corrente elétrica entre o potencial da rede e a terra, porém exercerão um comportamento de resistência naquele ponto e por efeito Joule ocorrerá dissipação de calor no isolador, essa energia térmica será transferida para o meio pelas três maneiras citadas, entretanto a que possui mais vantagens de detecção é a por radiação.

A transferência de calor por radiação eletromagnética é invisível a olho nu, pois acontece em comprimentos de ondas na faixa do infravermelho que vai de  $0,7\mu\text{m}$  até  $1000\mu\text{m}$ , neste caso são usados câmeras especiais que tem a função de converter esta radiação em imagem visível ao ser humano, elas são chamadas de termovisores (CRONHOLM, 2014).

Os termovisores apesar de indicar a temperatura de um ponto desejado, conforme mencionado, captam o comprimento de onda proveniente da radiação do ponto e através de diversos parâmetros do ambiente (inseridos pelo usuário) realiza cálculos internos para estimar a temperatura daquele corpo (CRONHOLM, 2014).

As inspeções de isoladores usando essa técnica (figura 11) apresentam muitas vantagens como: verificação em tempo real, trabalho a distancia em local seguro, boa sensibilidade dos termovisores. Por outro lado ela se mostra ineficiente, pois só consegue detectar falhas naqueles isoladores com alto nível de falha, é dependente da experiência do inspetor e também das condições climáticas.

Figura 11 – Inspeção de isoladores com uso de termovisor



Fonte: Autoria

### 3.4 Inspeções corretivas utilizando método da impedância aparente

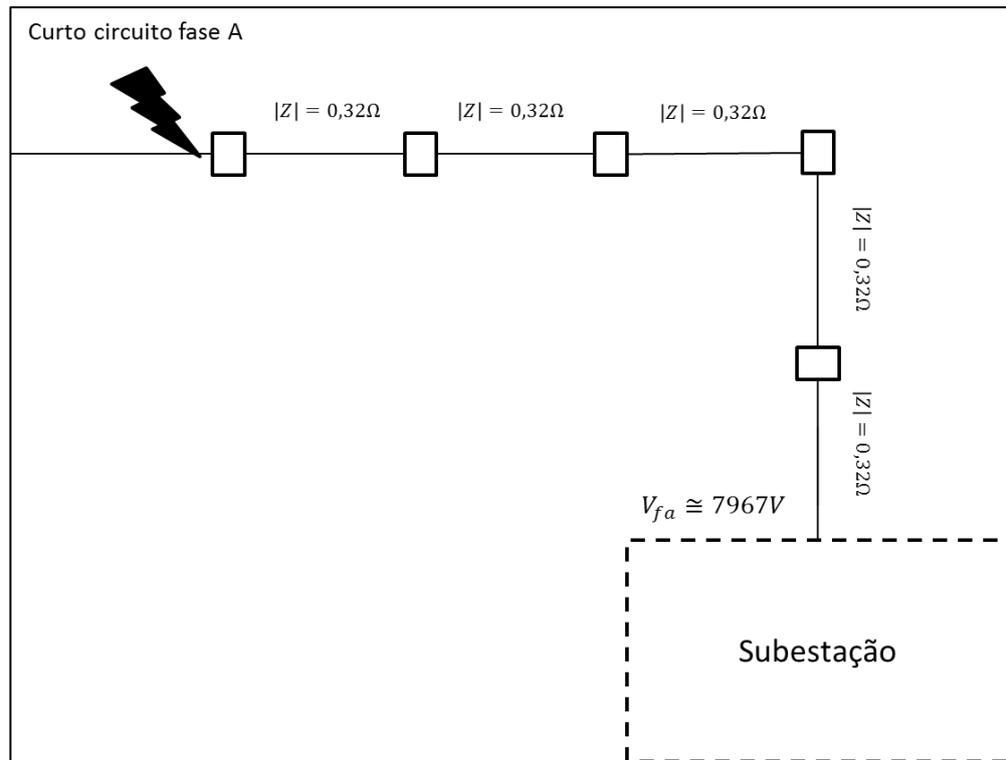
Quando uma rede de distribuição é submetida a uma falha que causa um curto circuito, a mesma em condições normais é reenergizada algumas vezes pelo religador de linha, porém se a falha persistir ou passar de um nível aceitável de curto o equipamento interrompe automaticamente a alimentação daquela rede. Nesses casos, todos os métodos de inspeção abordados até então não podem ser mais utilizados (para identificar possíveis isoladores em falha), pois seus princípios são baseados com a rede em funcionamento.

Existem diversos tipos de técnicas confiáveis para localização de falhas em circuitos de transmissão, que podem ser naturalmente aplicáveis às redes de distribuição, entretanto estas apresentam algumas dificuldades que devem ser consideradas (FARIAS; COSTA; MORAES; JUNIOR, 2014):

- Derivações ao longo da linha principal sejam elas trifásicos ou monofásicos;
- Redes de distribuição desbalanceadas;
- Leituras de tensão e corrente em apenas um terminal (Subestação);
- Configuração da rede em anel.

No geral apesar de ser possível aplicar todas as técnicas conhecidas de localização de falhas nos circuitos de distribuição, elas podem não ser viáveis economicamente ou mesmo possuir resultados insatisfatórios. Neste contexto, a técnica mais utilizada é da *impedância aparente* ilustrada no diagrama da figura 12.

Figura 12 – Técnica de localização de falha através de impedância aparente



Fonte: Autoria

A técnica consiste basicamente de: a partir da informação do fasor de tensão obtido na fonte de alimentação e do fasor de corrente de curto circuito que pode ser obtido através da equação 17 do capítulo 2 ou mesmo pelo equipamento de proteção, aplicar Lei de Ohm e determinar a impedância de curto circuito. Conhecendo as impedâncias dos cabos que compõem a rede e considerando apenas a impedância série da linha de distribuição, podem-se comparar as duas informações e com isso estimar a distância onde ocorreu a falha e a fonte (LIMA, 2013). No exemplo da figura 12, a corrente de curto circuito registrada na subestação considerando a falta monofásica no ponto destacado será de aproximadamente 4980A na fase da rede de distribuição.

Embora a técnica seja bastante aperfeiçoada com a utilização de algoritmos e apresente um bom desempenho, ela não possui ainda uma grande exatidão haja vista as dificuldades que as redes de distribuição impõem ao modelo, além do que os curtos nas linhas são em sua maioria através de uma impedância no ponto de defeito, situação não prevista na técnica de impedância aparente.

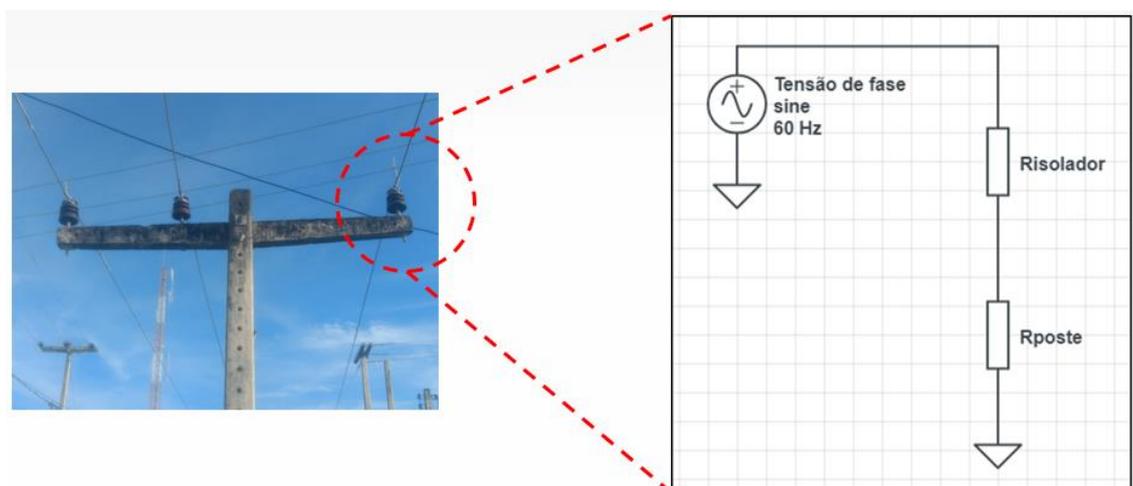
## 4 ANÁLISE ELÉTRICA DA FALHA EM ISOLADORES DE PINO

Ao longo do trabalho foi abordado como são enfrentadas na prática as falhas em isoladores de pino nas redes de distribuição podendo causar ou não o desligamento da mesma. Neste capítulo será realizada uma análise detalhada do problema com o objetivo de fornecer insumos para o desenvolvimento de um protótipo que auxilie na identificação desses elementos defeituosos, tanto em inspeções emergenciais quanto em inspeções preventivas.

### 4.1 Modelamento do problema

Sabe-se que 90% dos curtos circuitos em redes de distribuição são de natureza fase-terra (KINDERMANN, 1992), isto pode ser estendido também para as falhas em isoladores de pino que tem sua ocorrência predominantemente monofásica, de fato, são raros os casos em que se tem mais de um isolador comprometido por estrutura. Analisando eletricamente a figura 8 tem-se o seguinte circuito equivalente por fase.

Figura 13 – Circuito elétrico equivalente



Fonte: Autoria

Como pode ser visto na figura 13, o potencial da terra está conectado ao potencial da rede de distribuição através da resistência do poste acrescida da própria resistência do isolador. De uma forma geral será gerada uma corrente elétrica no circuito na ordem de micro amperes quando em condições normais de funcionamento o valor total da resistência for bastante elevado na ordem de  $M\Omega$ . Por outro lado, à medida que esta resistência diminui devido aos problemas no isolador citados no capítulo 1, essa corrente elétrica tende a aumentar ocasionando perdas na rede e até a possível saída do circuito (PORTELA; PIAZZA; INONE; RIBEIRO, 2007).

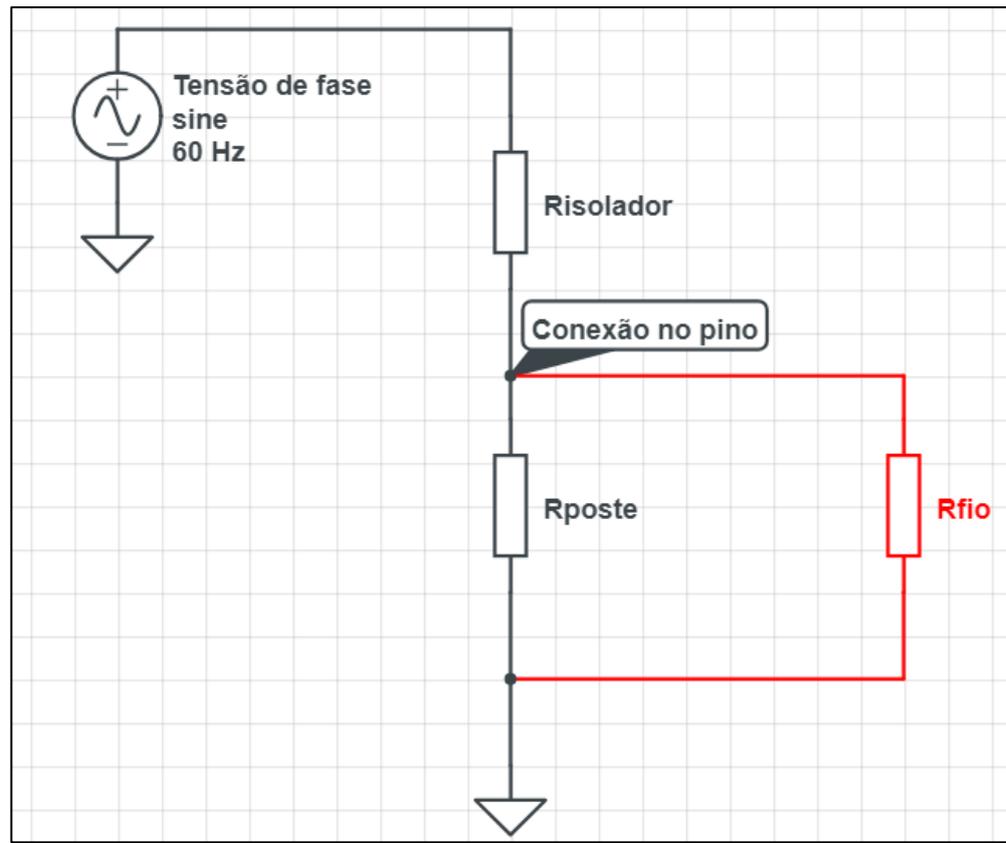
A resistência do poste de concreto convencional varia ao longo do tempo, clima e de sua composição de fabricação. Estudos indicam que embora eles possuam esse comportamento instável pode-se adotar resistências elétricas entre centenas a milhares de Ohm (SILVA, 2016).

## **4.2 Identificação de isoladores de pino danificados via corrente de fuga**

Identificar os isoladores de pino que apresentaram ou estão apresentando falhas de isolamento é extremamente relevante para as concessionárias seja do ponto de vista de redução de gastos relacionados às perdas, seja do ponto de vista de diminuir os tempos de recomposição de redes seccionadas pelas falhas desses elementos, através da agilidade na detecção do ponto defeituoso. Ora, se a intensidade da corrente elétrica que atravessa o isolador de pino nos fornece informações de sua resistência, basta realizar a medição dessa grandeza para se determinar se o elemento está ou não avariado. Várias possibilidades são ofertadas no mercado para esta finalidade, como por exemplo, alicates amperímetros e bobinas de Rogowski; porém todas além de apresentar um alto custo, possuem diversas limitações de operação, necessitam de manutenção periódica e precisam de alterações estruturais nos padrões das redes atuais.

Contudo, avaliando as figuras 8 e 13 sabendo que a resistência mínima do poste de concreto convencional é de algumas centenas de Ohm em condições adversas (pior situação), pode-se propor a instalação de um fio conectado ao pino de aço e ao potencial terra. O circuito equivalente da proposta está mostrado na figura 14.

Figura 14 – Circuito equivalente com inserção da proposta



Fonte: Autoria

Como pode ser observado na figura 14, a resistência do fio instalado da estrutura a terra ficará em paralelo com a resistência do poste no esquema elétrico, resultando em um divisor resistivo, como a resistência do fio é bastante baixa frente a do poste, então a corrente elétrica do circuito irá passar quase que em sua totalidade pelo fio. Isto simplifica a medição dessa grandeza e também possibilita a utilização de qualquer dispositivo de abertura por sobre corrente instalado em série com esse fio.

## 5 PROPOSTA DE PROTÓTIPO

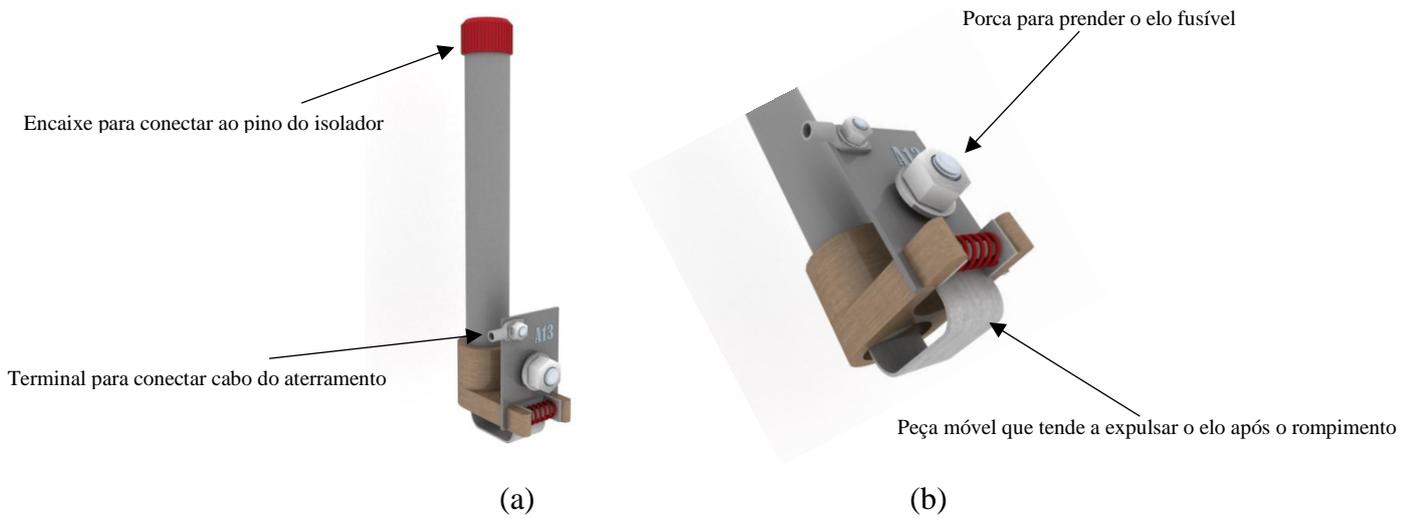
A proposta apresentada no capítulo anterior possibilita a instalação de qualquer tipo de dispositivo de abertura por sobre corrente comercializado no mercado, entretanto devido às limitações estruturais do problema, necessidade de sinalização da falha a distância e os níveis de tensão envolvidos foram realizadas pesquisas e algumas avaliações que resultaram em um dispositivo que reuniu todas as especificações desejadas nesse trabalho, o mesmo foi nomeado de *sensor de falha para isoladores de pino*.

### 5.1 Sensor de falha para isoladores de pino

O protótipo do sensor é idealizado de uma peça de tubo isolante de aproximadamente 15cm que tem a função de acondicionar e isolar os terminais de um elo fusível usado na distribuição. A extremidade superior do dispositivo possui um terminal metálico compatível com a rosca do pino do isolador, na outra extremidade um acionamento mecânico, com uso de uma mola, que tem a função de tencionar o elo fusível de forma a puxá-lo para fora do tubo isolante quando do rompimento do mesmo devido à passagem de corrente acima da nominal do elo. Ainda na extremidade inferior (localizado o acionamento mecânico) tem-se um ponto destinado a fixação do terra da estrutura.

O sensor após instalado na extremidade do pino (conforme figura 16), monitora a passagem de corrente que flui a partir do isolador de pino para o potencial terra, quando esta grandeza atingir o valor definido pelo elo, o mesmo irá romper e conseqüentemente ser expulso de dentro do tubo isolante, com o acionamento ativo uma fita de sinalização refletiva será exibida indicando que a corrente de fuga daquele isolador ultrapassou os limites estabelecidos, o dispositivo ficará nesse estado até que um eletricista faça a substituição do elo fusível. Na figura 15 é exposto imagem do protótipo do sensor descrito.

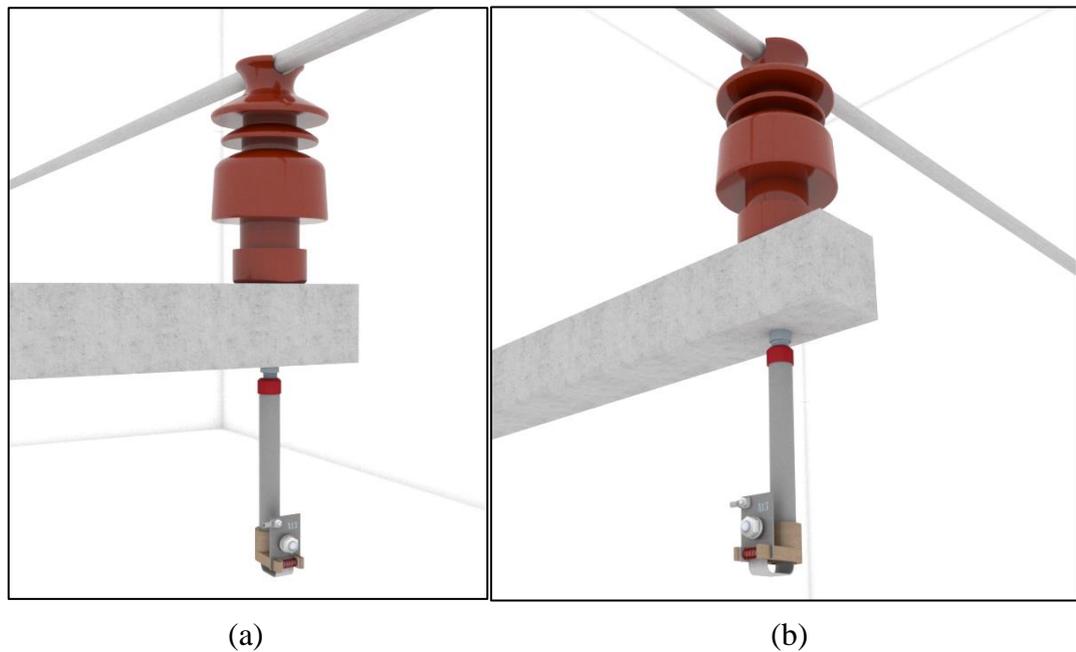
Figura 15 – Sensor de falha para isolador de pino



Fonte: Aatoria

Outro ponto determinante para idealização desse sensor é a simplicidade de instalação na estrutura, além da não necessidade de interrupção do sistema elétrico quando manuseado pelas equipes de distribuição. A figura 16 dá uma visão geral do protótipo do sensor de falha para isoladores de pino instalado na estrutura do pino.

Figura 16 – Sensor de falha para isolador de pino instalado em estrutura



Fonte: Aatoria

Uma ideia para diminuir ainda mais os custos seria a instalação de um sensor por estrutura, nessa configuração é necessário à interligação de todos os pinos de aço e a partir desse conectar no sensor que será aterrado na outra extremidade. Uma desvantagem desse arranjo é que quando ocorrer à atuação do sensor a equipe de manutenção não saberá especificamente qual dos isoladores de pino falhou sendo prudente a substituição de todos os elementos daquela estrutura.

## **5.2 Definição da corrente de falha em isoladores de pino**

Como visto no capítulo 4, a corrente elétrica que passa por um isolador de pino em condições normais é na ordem de micro amperes, todavia, pelos motivos relatados no capítulo 1 esse isolador pode diminuir seu isolamento resultando num aumento da corrente elétrica.

Portanto, é necessário definir um limiar de intensidade de corrente onde é possível presumir que aquele isolador não reúne mais condições elétricas para continuar no SEP. Neste caso, este limiar pode ser considerado para o pior caso conhecido que utiliza como parâmetro os isoladores de pino com depósito de sedimentos e salinidade submetidos a valores altos de umidade e baixa temperatura.

As condições relatadas foram testadas em um estudo realizado no estado da Bahia, mais especificamente na cidade de Salvador. Amostras novas e usadas de isoladores de pino de vários modelos foram instaladas em estrutura convencional de forma a ficarem expostos ao meio ambiente, porém envoltos por uma gaiola de Faraday (para evitar interferências eletromagnéticas). Nos isoladores foram inseridos vários sensores e um sistema computacional supervisorio de coleta de dados elétricos e meteorológicos por um período de três meses (PORTELA; PIAZZA; INONE; RIBEIRO, 2007).

As amostras testadas nessa pesquisa são relacionadas abaixo:

1. Isolador de pino de porcelana marrom envelhecido naturalmente em campo;
2. Isolador de pino, novo, de porcelana cinza;
3. Isolador de pino híbrido (composto de porcelana e silicone);
4. Isolador de pino de vidro envelhecido e com poluição;

5. Isolador de pino de vidro envelhecido e com poluição;
6. Isolador de pino, novo, de vidro revestido com borracha de silicone;
7. Isolador de pino, novo, de porcelana revestida com borracha de silicone;
8. Isolador de pino tipo pilar novo (de porcelana com maior área de escoamento);

Nesse trabalho serão considerados os dados referentes às amostras 1,2,4 e 5; pois são os isoladores mais usados atualmente, ao contrário dos demais utilizados na pesquisa que são relativamente novos no mercado e possuem um custo bastante elevado.

Na pesquisa, as informações de corrente elétrica registradas nos pinos das amostras de isoladores foram organizadas em patamares de intensidade onde é possível avaliar a frequência com que aquela amostra entrou naquela faixa, tais informações são apresentadas na tabela 3.

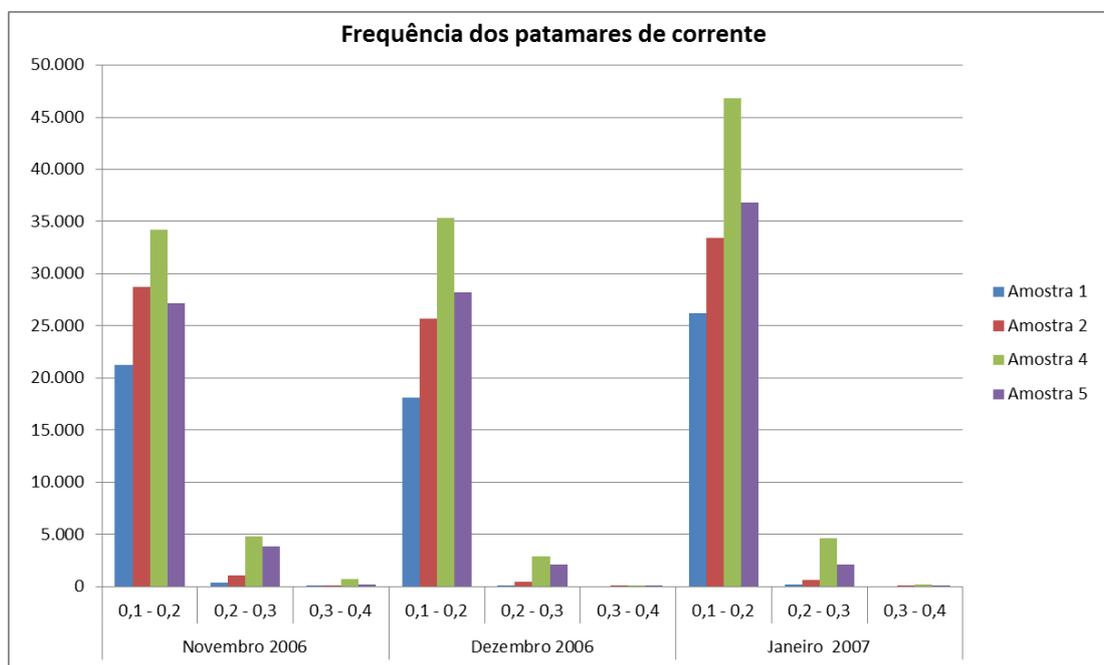
Tabela 3 – Frequência de falha de isolamento das amostras 1,2,4 e 5

Período	Patamares de corrente (mA)	Amostras			
		1	2	4	5
Novembro 2006	0,1 - 0,2	21.266	28.711	34.182	27.187
	0,2 - 0,3	340	1.067	4.805	3.897
	0,3 - 0,4	2	11	752	201
Dezembro 2006	0,1 - 0,2	18.088	25.693	35.318	28.233
	0,2 - 0,3	106	483	2.858	2.101
	0,3 - 0,4	0	3	67	58
Janeiro 2007	0,1 - 0,2	26.225	33.448	46.862	36.800
	0,2 - 0,3	182	596	4.664	2.115
	0,3 - 0,4	0	8	178	110

Fonte: (PORTELA; PIAZZA; INONE; RIBEIRO, 2007).

É possível observar na tabela 3 que as amostras 4 e 5 apresentam os piores índices de isolamento frente as demais amostras, e que apesar da amostra 1 ser também um isolador usado e envelhecido o mesmo tem comportamento melhor, tal situação está associado ao fato dele não possuir indícios de poluição. Os mesmos dados são ilustrados no gráfico da figura 17 para uma melhor visualização e avaliação.

Figura 17 – Gráfico da frequência de falha de isolamento das amostras 1,2,4 e 5



Fonte: (PORTELA; PIAZZA; INONE; RIBEIRO, 2007).

No geral pode-se concluir dos resultados, que os isoladores apresentam naturalmente uma corrente elétrica ou de fuga (em condições adversas) na ordem de miliampères, outro detalhe a ser destacado é que se tem ocorrência de correntes entre 0,3mA e 0,4mA, sendo esses, valores máximos registrados.

Em consulta aos fornecedores de isoladores de pino Gemer e ASW não foi fornecido valores de corrente elétrica ou de fuga que pudessem nortear a definição do limiar de falha, os dados elétricos repassados são relacionados aos ensaios normatizados e descritos no capítulo 2. Contudo, a partir das informações da pesquisa citada, realizou-se uma avaliação para

determinar qual seria a corrente elétrica que caracteriza que o isolador perdeu suas características elétricas.

Algumas ponderações foram feitas:

- O isolador de pino pode apresentar oscilações de isolamento dependendo das condições climáticas, então o limiar da corrente de falha deve prever essa condição, ou seja, ser maior;
- O limiar de corrente de falha deve ter um valor fácil de encontrar comercialmente;
- Esse valor de corrente deve ser bem abaixo da corrente de proteção nominal do religador de linha, isto fará com que nos primeiros problemas de isolamento o dispositivo fique sinalizando que aquele elemento está defeituoso, facilitando sua detecção por parte das equipes de inspeção.

Levando em consideração as premissas anteriores estimou-se um limiar de corrente de falha em isoladores de pino de 1A, sendo esse valor relativo a apenas um isolador de pino. Nos casos em que se optar por instalação de um sensor por estrutura deve ser usado como referência de limiar de corrente também valor de 1A, pois conforme mencionado no capítulo 2 a probabilidade de dois ou mais isoladores falharem simultaneamente é mínima.

## 6 CONCLUSÃO

Os isoladores de pino predominam nas redes de distribuição e desempenham papel fundamental no transporte da energia elétrica até os consumidores finais, portanto falhas nesses elementos tem grande impacto nos níveis de qualidade e atendimento de uma concessionária.

Neste trabalho foi abordada a problemática enfrentada diariamente pelos técnicos e eletricitas, que é a identificação de isoladores de pino que apresentam falhas de isolamento nas redes de distribuição.

Inicialmente foi realizada uma breve análise teórica do problema que nos levou a equacionamentos interessantes, porém não executáveis na prática. Dando continuidade ao trabalho foram citadas as principais técnicas de inspeção preventivas praticadas atualmente e também o principal método que é utilizado pelas equipes em manutenções corretivas.

Tais técnicas de inspeção preventiva ou corretiva apresentam em geral alto custo e pouca exatidão. Neste sentido a partir de uma avaliação detalhada da problemática, foi proposta uma adaptação nos padrões construtivos de instalação de isoladores de pino, proposta esta que possibilita a utilização de dispositivos de abertura por sobre corrente.

Através da pesquisa citada no capítulo 5 foi possível estimar um valor de corrente a partir do qual pode ser considerado que aquele isolador é defeituoso.

E por fim com o objetivo de simplificar a detecção e reduzir custos com a implementação da proposta, foi idealizado um protótipo com as seguintes vantagens:

- Baixo custo de confecção;
- Dispensa manutenções periódicas, principalmente porque o dispositivo não necessita de alimentação;
- Os fusíveis são os mesmos já usados pela concessionária;
- Apresenta memória de falha, ou seja, caso ocorra qualquer evento o dispositivo ficará acionado até que o eletricitista faça a reposição do elemento fusível;
- Dispositivo possui sinalização visual à distância.

No geral, a proposta não dispensará o uso das demais técnicas e sim ser mais uma importante ferramenta na busca de tempos de recomposição menores nos casos de seccionamento de circuitos, ou mesmo na detecção preventiva evitando faltas futuras.

## **6.1 Trabalhos futuros**

Com objetivo de aperfeiçoar esse trabalho, abaixo são sugeridos alguns estudos ou ações complementares:

- Confeção do protótipo e análise de funcionamento em campo;
- Estudo quantitativo das perdas técnicas relacionadas aos isoladores de pino;
- Uso de algoritmos mais complexos no método da impedância aparente a fim de melhorar a exatidão na detecção de falhas em rede de distribuição.
- Desenvolvimento de supervisão de baixo custo das estruturas de média tensão.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALESSI, L. P.; OGAWA, S. K. *Inspeção de redes de distribuição com a utilização do equipamento de rádio frequência*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2010.

ANEEL, *Indicadores Coletivos de Continuidade (DEC e FEC)*. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/indicadores-coletivos-de-continuidade>>. Acesso em 21 de maio de 2018.

CLAYTON, R. Paul. *Electromagnetics for Engineers with Applications to Digital Systems*. 2004.

COI - Centro de Operações Integradas, *Relatório de ocorrências significativas*. João Pessoa, 2017. Relatório interno.

CRONHOLM, M. *Curso de termografia nível I*. Infrared Training Center- publicação n° 1560063\_E-pt/BR, 1° edição, Estocolmo/ Suécia: 2014.

FARIAS, E. F.; COSTA, G. B.; MORAES, A. P.; JUNIOR, G. C. *Revisão e Análise das Técnicas para Localização de Falhas em Redes de Distribuição de Energia Elétrica*, Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

FILHO, João Mamede. *Manual de Equipamentos Elétricos*, 3ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

KINDERMANN, G. *Curto-circuito*. Porto Alegre: Sagra: DC Luzzatto, 1992.

KOWALSKI, E.L; MACHADO, R.P; FERNANDEZ, Mariana; BORGES, Ademar. *Sistema de inspeção instrumental para detecção de falhas em isoladores nas linhas de distribuição*, Projeto 2866-032, 2006.

LIMA, D. A. C. *Localização de faltas em sistemas de transmissão de energia elétrica baseada na impedância aparente: algoritmo utilizando dados de um terminal*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

LOFTNESS, M. *AC Power Interference Handbook*. 2nd Edition, Tumwater, Percival Technology, 2003.

MUHLEN, S. S. *Interferência e Compatibilidade Eletromagnética*. Alemanha 2002.

PORTELA, K. F.;PIAZZA, F.;INONE, P. C.;RIBEIRO, S. *Monitoramento da corrente de fuga, descargas parciais e resistência de isolamento de isoladores sob poluição industrial e litorânea*, Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2007.

SHIHAB, S.; WONG, K.L. *Detection of faulty components on power lines using radio frequency signatures and signal processing techniques*. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Cingapura, v.4, p.2449-2452, 23-27 Jan., 2000.

STEVENSON, W. D. *Elementos de análise de sistemas de potência*. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

SILVA, L. M. A. *Resistividade elétrica superficial do concreto: influência da cura*, Goiana: Universidade Federal de Goiás, 2016.

ZANETTA, L. C. *Fundamentos de sistemas elétricos de potência*. São Paulo: Livraria da Física, 2006.