

## ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DE ISOLAÇÃO EM GERADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO: Manutenção Preventiva Periódica 2

**Guilherme Mendes da Silva**

Graduando em Engenharia Elétrica.  
Faculdades Integradas de Três Lagoas-AEMS.

**Jair Antonio Longo Junior**

Mestre em Engenharia Elétrica – UNESP;  
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

**Lucas Antonio de Souza Silva**

Bacharel em Engenharia Elétrica – UNESP;  
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

### RESUMO

Os ensaios de resistência de isolamento são realizados nos enrolamentos do estator de geradores síncronos trifásicos durante uma manutenção preventiva periódica para que se possa ter o acompanhamento, ao longo do tempo, do estado do isolamento das três fases do gerador. Com a medição da resistência de isolamento e cálculo do índice de polarização é possível verificar se o isolamento está em condições de suportar a tensão nominal ou de serviço, ou se necessita de secagem ou limpeza antes do retorno à operação após parada prolongada, além de indicar se o isolamento pode ser submetido a ensaios de alto potencial (tensões superiores à nominal). Objetiva-se aqui o estudo dos ensaios de resistência de isolamento programados para uma Manutenção Preventiva Periódica 2 de um Gerador Síncrono Trifásico, através do acompanhamento desses ensaios. Há o detalhamento das técnicas utilizadas, apresentando-se os equipamentos que foram utilizados para os ensaios, os motivos para que os ensaios fossem realizados, resultados obtidos são descritos e discutidos de forma cabível de acordo com os critérios. A importância da realização destes ensaios é saber a real situação da isolamento dos enrolamentos e corrigir se necessário através de secagem e/ou limpeza dos enrolamentos, evitando-se, assim um curto-circuito entre as bobinas do estator que tem um valor de 4,27kA, que causaria danos materiais, além trazer prejuízos à qualidade da geração e fornecimento de energia elétrica pela Usina Hidrelétrica.

**PALAVRAS-CHAVE:** resistência de isolamento; gerador síncrono; índice de polarização; estator.

### 1 INTRODUÇÃO

Em uma manutenção preventiva periódica 2 (MPP2) o ensaio de resistência de isolamento é realizado logo no início da mesma para fim de se determinar as características da isolamento dos enrolamentos do estator. Logo após a finalização da manutenção são realizadas novas medições para se determinar as características da isolamento dos enrolamentos do estator limpos e reparados. As medidas de antes da limpeza, após a limpeza são comparadas neste trabalho com as medidas habituais da máquina geradora.

O gerador síncrono utilizado para os ensaios está localizado na Usina Hidrelétrica Engenheiro Souza Dias (UHE Jupia).

Segundo Fitzgerald (2006), uma máquina síncrona “[...] é aquela na qual uma corrente alternada flui no enrolamento de armadura e uma excitação CC é fornecida ao enrolamento de campo”.

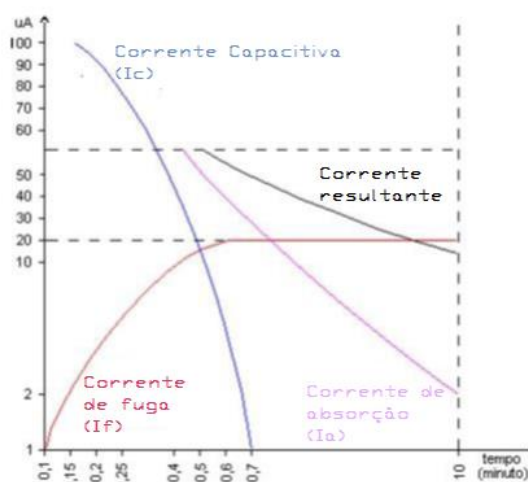
A manutenção preventiva baseia-se em estatística, sendo programados reparos ou recondiçõamentos de máquinas, estimando, assim, a possibilidade de falha tanto no momento seguinte ao início do funcionamento, que podem ocorrer devido às falhas na instalação, ou ainda após um longo período de utilização dos equipamentos.

Os enrolamentos do estator bobinado da maioria das máquinas de alta tensão são tipicamente constituídos por três fases individuais e são conectados em estrela através dos terminais de neutro. Cada fase pode ser constituída num circuito simples de uma série de bobinas conectadas ou dois ou mais circuitos paralelos (MORETTI, 2016, p. 41).

Segundo a norma IEEE-43 (2000), a resistência de isolação é a capacidade do isolamento elétrico de um enrolamento para resistir à corrente contínua.

A resistência de isolação é o quociente da tensão contínua aplicada ao dielétrico, pela corrente medida a partir do momento da aplicação desta tensão. No entanto, existe uma diferença para a Lei de Ohm válida para condutores, uma vez que o tempo de aplicação da tensão é um parâmetro desta relação, conforme se verá a seguir.

**Figura 1. Gráfico componentes da corrente de um dielétrico.**



**Fonte:** Adaptado da instrução de manutenção IM-137.

De acordo com CESP (2010), para os enrolamentos do estator de geradores hidrelétricos que tenham níveis de tensão iguais ou maiores que 13,8 kV, a medição da resistência de isolação tem como finalidades determinar se o isolamento está em condições de suportar a tensão nominal ou de serviço, ou se necessita de secagem ou limpeza antes do retorno à operação após parada prolongada; além de indicar se o isolamento pode ser submetido a ensaios de alto potencial (tensões superiores à nominal).

O índice de polarização é definido como sendo a relação entre a corrente após 1 minuto e após 10 minutos (CESP,2010). Estas correntes são compostas de três componentes: capacitiva, de absorção e de fuga.

De acordo com CESP (2010), pode-se desprezar a componente capacitiva, pois é de curtíssima duração. Considerando que após 10 minutos a corrente de absorção é desprezível, tem-se:

$$I. P. = \frac{I_1}{I_{10}} = \frac{(I_{a1} + I_f)}{I_f} \quad (1)$$

$$I. P. = \frac{I_{a1}}{I_f} + 1 \quad (2)$$

Onde:

I.P.: Índice de Polarização;

$I_1$ : Corrente de 1 minuto;

$I_{10}$ : Corrente de 10 minutos;

$I_{a1}$ : Corrente de absorção de 1 minuto;

$I_f$ : Corrente de fuga.

Aplicando-se a Lei de Ohm para 1 minuto e 10 minutos, tem-se:

$$V = R_1 x I_1 = R_1 x (I_{a1} + I_f) \quad (3)$$

$$V = R_{10} x I_{10} = R_{10} x I_f \quad (4)$$

Onde:

V: Tensão aplicada;

$R_1$ : Resistência de isolação de 1 minuto;

$R_{10}$ : Resistência de isolação de 10 minutos.

Fazendo-se a expressão (3) igual à expressão (4), obtém-se o seguinte:

$$\frac{R_{10}}{R_1} = \frac{(I_{a1} + I_f)}{I_f} = \frac{I_{a1}}{I_f} + 1 = I. P. \quad (5)$$

Pode-se observar que realmente o quociente entre os valores da resistência de isolamento a 10 e a 1 minuto representa o índice de polarização. Sendo assim, este é o procedimento utilizado na prática, pois se tem uma maior facilidade na medição da resistência de isolamento, do que na medição de correntes de absorção ou de fuga. Outra observação é que o valor de do índice de polarização nunca será inferior a 1, devido ao valor constante de 1.

### **1.1 Valores Mínimos de Resistência de Isolação e Índice de Polarização Admissíveis em Normas**

Como resistência de isolamento compreende-se a medida feita 1 minuto após o início da aplicação de uma tensão continua constante. A medida é feita no enrolamento total, das três fases contra a terra (ABV/T). Sendo: A - fase azul; B - fase branca; V - fase vermelha; T- terra.

Segundo a norma IEEE43 (2000), sendo o gerador fabricado nos anos de 1970, o valor mínimo admissível é dado pela expressão:

$$R_{1min} \leq (kV + 1)M\Omega$$

Sendo:

$R_{1min}$ : resistência de isolamento em  $M\Omega$ , lida a 1 minuto (ABV/T).

kV: tensão nominal, entre fases, do enrolamento em kV.

Como já dito, o índice de polarização é representado pelo quociente da divisão da resistência de isolamento a 10 minutos pela resistência de isolamento a 1 minuto. Tem-se, assim, os valores mínimos de I.P. encontrados em normas (NBR 5383 e IEEE-43) para a isolamento classe B, que são de 1,5 a 2,5

As normas NBR 5383 e IEEE-43, no entanto, são unânimes em afirmar que tais valores mínimos apresentados por elas são informativos. Portanto não se tem a garantia de a ausência de falhas em operação.

Sendo assim, tais normas recomendam que um parâmetro seguro para se determinar uma falha seja a comparação do valor medido, com valores habituais apresentados pelo enrolamento seco e limpo.

Devido aos fatos apresentados, a empresa que possuía a usina sob concessão estabeleceu os valores mínimos para os geradores dela.

## 1.2 Valores Mínimos de Resistência de Isolação e Índice de Polarização Adotados pela Empresa

As condições em que são medidas, a finalidade da medição e os fatores que influenciam o desempenho da isolação devem ser levados em conta pelo critério de valores mínimos para a resistência de isolação e índice de polarização. O valor mínimo será ainda taxativo, não dando margem a eventual interpretação pessoal do mesmo (CESP, 2010).

## 1.3 Valores Mínimos de Resistência de Isolação e Índice de Polarização Habituais

Os valores habituais de resistência de isolação dos geradores da empresa em questão variam na faixa de 80MΩ a 800MΩ, para resistência de 1 minuto (ABV/T), com os índices de polarização variando de 1,7 a 6,0 e em algumas unidades geradoras dão maiores que 7,0. Tendo tal diversidade de valores, não é possível e nem viável estabelecer um critério numérico geral. Segundo CESP (2010), o critério de verificação deve ser função dos valores habituais de cada gerador, constantes nos arquivos de medidas de resistência de isolação e relatórios de secagem das unidades.

A medição do índice de polarização é feita pelo método descrito anteriormente (quociente entre as resistências de 10 minutos e de 1 minuto), antes do início da manutenção (na parada da máquina) e após a mesma. Sendo que se a medida efetuada “depois” revelar valores mais baixos que os mínimos que serão especificados a seguir, deve-se realizar a secagem do gerador.

Para os valores de resistência de isolação e I.P. para o enrolamento do estator aplica-se alguns critérios.

A secagem é necessária se ao término da parada, a resistência de 1 minuto for igual ou inferior a 75% da resistência habitual, e/ou se o índice de polarização for igual ou inferior a 88% do valor habitual, ou seja

$$R_{1min} > 0,75xR_{1min\text{habitual}}(ABV/T) \text{ e } I.P. > 0,88xI.P.\text{habitual} (ABV/T)$$

De acordo com CESP (2010), ocorrendo casos em que um dos valores está acima e outro no limite especificado, ou ambos estejam no limite especificado, a decisão da secagem ou não, será tomada em função da curva de crescimento da resistência durante a medida do índice de polarização.

Entende-se como valor habitual a média aritmética dos valores medidos em ensaios anteriores, bastando para isso realizar a média de duas ou três medições feitas no enrolamento seco (após a parada ou após a secagem).

CESP (2010) diz que caso não exista documentação para estabelecer os valores habituais de cada gerador, utiliza-se o mesmo critério, tomando-se como valor habitual, o efetuado após a parada da máquina para manutenção. Considera-se neste caso que a isolação encontra-se seca.

Existe outro critério também utilizado pela empresa que diz que após um gerador permanecer parado por 15 dias ou mais, deverá ser feita a secagem do mesmo, não importando os valores medidos de resistência de isolação e índice de polarização.

#### 1.4 Medição em Enrolamentos do Estator do Gerador

O princípio básico seguido para a execução do ensaio é a medição da resistência de isolação de cada uma das fases do gerador, contra as outras duas fases aterradas e os terminais de linha e fechamento do neutro deve estar desconectados na primeira conexão da saída do gerador.

De acordo com CESP (2010), os ensaios podem ser realizados em todo o bobinado de uma vez em condições especiais, tal como quando não se tem acesso ao neutro do gerador ou a sua desconexão seja difícil ou para uma avaliação rápida após uma ocorrência, portanto também é conveniente ter valores de referência para as três fases juntas.

O nível de tensão a ser utilizado é dependente da tensão nominal do enrolamento e da tensão máxima do medidor. As tensões são estão na Tabela 1.

**Tabela 1. Nível de tensão teste.**

Tensão do Gerador/Motor (Volts)	Tensão de Teste (Volts)
Menor que 600	500
Entre 1000 e 2500	500 a 1000
Entre 2500 e 5000	1000 a 2500
Maior que 5000	2500 a 5000

Fonte: Adaptado da instrução de manutenção IM-137

## 2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é o estudo dos ensaios de resistência de isolação no estator do gerador síncrono trifásico programados para uma manutenção preventiva periódica 2 (MPP2), através do acompanhamento desses ensaios. Há o detalhamento das técnicas utilizadas, apresentando-se os equipamentos que foram utilizados para os ensaios, os motivos para que os ensaios fossem realizados, resultados obtidos são descritos e discutidos de forma cabível de acordo com os critérios.

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Instrumento de Medição de Resistência de Isolação (Megger MIT 520)

O instrumento de medição de resistência de isolação utilizado para os ensaios foi o Megger MIT 520, que é projetado especificamente para auxiliar o usuário com o teste e manutenção em equipamentos de alta tensão. O Megger MIT 520, possui interface amigável que mostra em seu display a resistência medida, e esta resistência pode ser de até 15TΩ. Oferece em sua tela um número real que pode ser usado para uma tendência preditiva/preventiva na mais alta qualidade de isolação. Por possuir uma larga faixa de tensão, permite, também, aplicação em equipamentos de baixa tensão.

Figura 2. Megger MIT 520 e dados técnicos.



Tensão de teste	50V a 1kV em degraus de 10V e de 1kV a 5kV em degraus de 25V
Faixa de resistência de isolação	10kΩ a 15TΩ
Precisão de resistência de isolação	±5% até 1TΩ ±20% até 10TΩ ±20% até 20TΩ
Precisão de tensão de saída	+4% a 0% ±10V da tensão nominal de teste em uma carga de 1GΩ
Corrente de curto-circuito e em carga	3mA
Faixa de tensão de entrada	95 a 240V em freq. De 50/60Hz
Faixa de tempo (cronômetro)	0 a 99minutos e 59 segundos

Fonte: Extraído do catálogo do fabricante Megger.

O instrumento também possui em seu display um contador de tempo que permite anotar as resistências de isolamento com o passar do tempo, podendo ser programado para operar até a resistência de 10 minutos, seguindo fielmente os procedimentos de ensaio. A Figura 2 mostra o instrumento em questão e seus dados técnicos. Este instrumento aplica tensão através das ponteiros na isolação do equipamento a ser ensaiado e assim mede sua resistência de isolação. Nos ensaios de corrente de fuga também foi utilizado um higrômetro que lê temperatura e umidade. A Figura 3 mostra o instrumento utilizado.

**Figura 3. Higrômetro digital.**



**Fonte:** Modelo MTH 1380, Minipa.

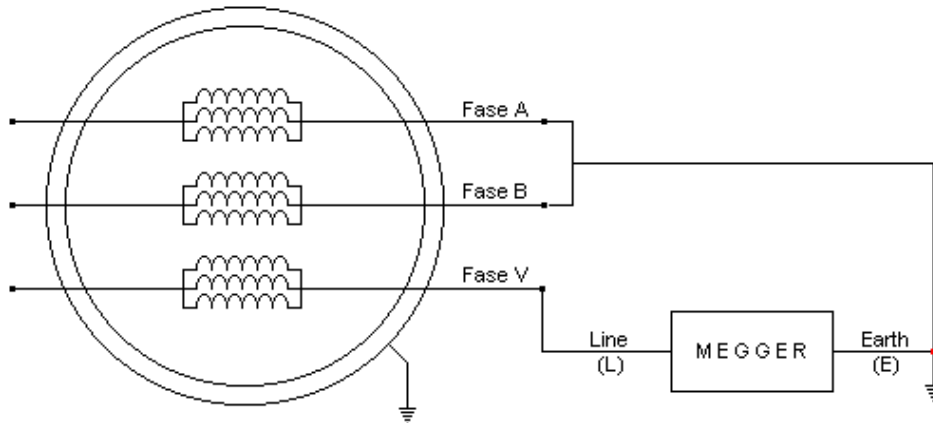
### 3.2 Execução do Ensaio

Os procedimentos para o ensaio de resistência de isolação foi seguido conforme instrução de manutenção IM-137 da empresa.

Em qualquer tipo de ensaio dentro da usina a instrução indica que se deve adaptar-se às condições de segurança básicas e necessárias para um ensaio, como: (i) isolamento da área sob ensaio, através de cordas com bandeirolas; (ii) colocar placas de sinalização, impedindo a entrada de pessoas durante o período do ensaio; (iii) retirada da área de segurança das pessoas não participantes no evento. Assim como a Norma Regulamentadora 10 indica também.

Seguindo a sequência do procedimento fez-se a ligação do Megger MIT 520 conforme a Figura 4.

**Figura 4. Esquema de ligação para o ensaio no enrolamento do estator de geradores.**



**Fonte:** Adaptado da instrução de manutenção IM-137

Deve-se tomar atenção especial em não se deixar o cabo de potencial, que será ligado ao cobre da fase a ser ensaiada, em contato com partes aterradas. Se isto ocorrer é possível que a resistência de isolamento a ser medida sofra influência. A tensão aplicada neste ensaio é de 5 kV.

**Figura 5. A. Fases do centro estrela desconectadas. B. Aterramento das fases. C. técnico programando o instrumento Megger MIT 520. D. ponteiros do Megger MIT 520 ligadas nas fases na saída do gerador.**



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Ligou-se a chave do Megger MIT 520. Nesse momento o cronômetro do Megger MIT 520 iniciou a contagem dos tempos. Ao 1º minuto foi feita a primeira

leitura do valor da resistência de isolamento e anotando-o. Logo após a anotação, leu-se a temperatura do enrolamento e da umidade do ar ambiente. Ao 10º minuto foi feita mais uma leitura do valor da resistência de isolamento e anotando-o. Após a anotação, leu-se novamente a temperatura do enrolamento. Se esta variasse durante o tempo gasto na medição, a temperatura atribuída ao índice de polarização deveria ser a média aritmética dos dois valores.

Repetiu-se o ensaio para as outras fases, mantendo-se sempre as outras duas aterradas. Na Figura 5 são mostradas imagens do dia do ensaio de isolamento realizado.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Primeiro Ensaio de Resistência de Isolação

O primeiro ensaio foi realizado no dia 03/03/2015, antes da MPP2. Os dados obtidos foram anotados em uma planilha de ensaio. A norma seguida foi a IM-137, foi realizado por uma equipe de três técnicos e os instrumentos utilizados foram higrômetro; Megger MIT 520.

Através do instrumento Megger MIT 520 foram realizadas as medidas de resistências de isolamento do estator para cada situação apresentada na Tabela 2 e foram calculados, também, os índices de polarização utilizando a equação (5).

**Tabela 2. Resistências de isolamento e índices de polarização medidos.**

Tempo (min)	ABV/T	ABT/V	AVT/B	BVT/A
1	58MΩ	170 MΩ	170 MΩ	166 MΩ
10	462 MΩ	1330 MΩ	1370 MΩ	1300 MΩ
Índice de polarização (R10/R1)	7,96	7,82	8,06	7,83
Índice de polarização último ensaio	6,07	6,29	6,30	6,19

(Classe de isolamento B)

Fonte: Elaborado pelos autores.

Vale salientar que: (i) ABV/T (fases azul, branca e vermelha interligadas) – mediu-se a isolamento do terra em relação a estas fases; (ii) ABT/V (fases azul e branca aterradas) – mediu-se a isolamento da fase vermelha em relação aos terminais

interligados; (iii) AVT/B (fases azul e vermelha aterradas) – mediu-se a isolação da fase branca em relação aos terminais interligados; (iv) BVT/A (fases branca e vermelha aterradas) – mediu-se a isolação da fase azul em relação aos terminais interligados.

No painel da unidade geradora foi lida a temperatura do enrolamento que foi 35,9 °C. Com o higrômetro da figura 5 foi medida a temperatura ambiente que foi 32,3 °C e a umidade relativa que foi 68,3%.

Utilizando os critérios apresentados anteriormente, analisaram-se os dados do ensaio. O critério diz que:

$$R_{1min} > 0,75 \times R_{1min\text{habitual}}(ABV/T) \text{ e } I.P. > 0,88 \times I.P.\text{habitual}(ABV/T)$$

Observou-se a partir da tabela 2 construída que:

$$R_{1min} = 58M\Omega.$$

$$R_{1min\text{habitual}} = 71,55M\Omega.$$

$$\text{Para a resistência de 1 minuto obteve-se: } 0,75 \times 71,55M\Omega = 53,66M\Omega.$$

Assim, chegou-se ao resultado de que o valor medido para 1 minuto (58MΩ) é maior que o 75% do valor habitual (53,66MΩ). Foi possível concluir que o resultado para resistência de 1 minuto está dentro do valor mínimo adotado pelas normas da empresa.

$$\text{Pela tabela 2: } I.P. = 7,96 \text{ e } I.P.\text{habitual} = 6,34.$$

Realizando a multiplicação do lado direito da inequação tem-se:  $0,88 \times 6,34 = 5,58$ .

Sendo assim, entende-se que o índice de polarização calculado (7,96) é maior que 88% do valor do índice de polarização habitual. Assim o índice de polarização está dentro do valor especificado pelas normas da empresa.

De acordo com as normas da empresa resultados insatisfatórios seriam tais que:

$$R_{1min} < 0,75 \times R_{1min\text{habitual}}(ABV/T) \text{ e } I.P. < 0,88 \times I.P.\text{habitual}(ABV/T)$$

## 4.2 Segundo Ensaio de Resistência de Isolação

O segundo ensaio foi realizado nos terminais de saída do gerador no dia 25/05/2015, antes do início da secagem, para avaliar a isolação após a MPP2. Os dados obtidos foram anotados em uma planilha de ensaio. A norma seguida foi a IM-137, foi realizado por uma equipe de 2 técnicos e o instrumento utilizado foram higrômetro; Megger MIT 520.

Através do instrumento Megger MIT 520 foram realizadas as medições de resistências de isolamento do estator para a situação apresentada na Tabela 3 e foi calculado, também, o índice de isolamento utilizando a equação (5).

**Tabela 3. Resistências de isolamento e índice de polarização medidos.**

Tempo (min)	ABV/T
1	29,3MΩ
10	66,5 MΩ
Índice de polarização (R10/R1)	2,27
Índice de polarização último ensaio	7,96

**(Classe de isolamento B)**

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Verificou-se, no painel da unidade geradora, que a temperatura do enrolamento foi de 27 °C. Com o higrômetro da Figura 3, mediu-se a temperatura ambiente (26,8 °C) e a umidade relativa (48%).

Apenas pelo fato de a máquina estar parada a mais de 15 dias, pelas normas da CESP, já é necessária a realização da secagem da máquina. Assim não foi preciso a aplicação dos critérios para verificação da necessidade de secagem. Sendo assim, foi realizado este ensaio para ter registrado no histórico da Unidade Geradora, pois este resultado pode ser consultado para comparação com outros ensaios de isolamento, podendo ajudar em resolução de alguns problemas que possam surgir futuramente.

## 5 CONCLUSÃO

A resistência de isolamento em um gerador síncrono trifásico pode sofrer alterações em seu valor. Como dito por CESP (2010), isso se deve ao fato de que valor típico da resistência de isolamento de um determinado enrolamento é dado pelo tipo e quantidade do material isolante, variando diretamente com a espessura do isolamento e inversamente com a área em contato com o cobre do condutor. Além disso, diversos fatores externos influenciam a resistência de isolamento.

A resistência de isolamento pode variar em função de três fatores principais: temperatura, sujeira e umidade.

Em função da temperatura, a variação é equacionada, referindo as medidas efetuadas em diversas temperaturas ao padrão de 40°C, de acordo com a norma

IEEE43 (2000). Isto implica na adoção de um fator de segurança no critério do valor mínimo. Por exemplo, uma medida de resistência de isolamento de  $50M\Omega$  a  $40^{\circ}C$  pode dar um valor de  $15M\Omega$  na temperatura habitual de operação. Esse baixo valor medido em uma alta temperatura não indica necessariamente uma grande diminuição da resistência de isolamento, isso pode estar ligado à mobilidade molecular do meio isolante, que causa uma maior corrente de condução e de absorção.

A umidade, enfim, é um fator importante e perigoso. Se a temperatura do enrolamento estiver abaixo da ambiente pode haver a penetração de umidade na gerador. A isolamento dos enrolamentos do gerador é de classe de temperatura B, que utiliza compostos asfálticos ou goma-laca como impregnante das fitas de mica, e esse tipo de isolamento são higroscópicas e, portanto, a umidade penetra no interior da isolamento. Assim, uma isolamento úmida apresenta um valor baixo de resistência, indicando uma real e efetiva diminuição do seu poder dielétrico. Elimina-se esta umidade por calor na secagem especificamente ou durante a operação.

A importância da realização destes ensaios é saber a real situação da isolamento dos enrolamentos e corrigir se necessário através de secagem e/ou limpeza dos enrolamentos, evitando-se, assim um curto-circuito entre as bobinas do estator que tem um valor de  $4,27kA$ , que causaria danos materiais, além trazer prejuízos à qualidade da geração e fornecimento de energia elétrica pela Usina Hidrelétrica.

## REFERÊNCIAS

CESP, IM137-Ensaio Dielétricos em Corrente Contínua, São Paulo, 2010.

EVERSHED, S. The characteristics of insulation resistance. Journal of the institution of electrical engineers, p.51-73, dez., 1913.

FITZGERALD, A. E. Máquinas Elétricas, São Paulo: Bookman, 2006.

HILL, L. Testing electrical insulation of rotating machinery with high-voltage direct current. Aiee transactions power apparatus and system, v.3, p.159-174, 1953.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE 43: recommended practice for testing insulation resistance of rotating machinery, New York, 2000. Disponível em: <<http://standards.ieee.org/findstds/standard/43-2000.html>>. Acesso em: 15 Jun. 2014. Acesso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.

KUFFEL, E; ZAENGL W. S.; KUFFEL J. High voltage engineering. Oxford: Ed. Butterworth-Heinemann, 2000.

MORETTI, D. R. Investigação experimental sobre faltas em isolamento de alta tensão aplicada em estatores de máquinas elétricas, 2016. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Catarina,.Florianópolis, 2016.

STONE, G. et al. Electrical insulation for rotation machines. design, evaluation, aging, testing, and repair, New Jersey: ed. IEEE, p.15, 2004.

STONE, G. et al. Electrical insulation for rotation machines. design, evaluation, aging, testing, and repair, New Jersey: ed. IEEE, p.91, 2004.