

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DE ISOLAÇÃO EM GERADORES SÍNCRONOS: Relato de caso

Renan Oliveira Ramos¹; Yuri Roberto Moraes dos Santos¹; João Borges da Silveira^{2,5}; Gisele Aparecida de Souza^{3,5}; Jair Antônio Longo Junior^{4,5*}

¹ Graduando em Engenharia Elétrica, Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS; ² Doutor em Ciência dos Materiais – FEIS/UNESP; ³ Doutora em Ciência dos Materiais – FEIS/UNESP; ⁴ Mestre em Engenharia Elétrica – Unesp Ilha Solteira; ⁵ Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

* autor correspondente: jairlongo@gmail.com

RESUMO

Em equipamentos elétricos, para que se tenha um funcionamento pleno se faz necessário que sua resistência de isolamento seja de valores satisfatórios, para um gerador de energia elétrica não é diferente, para prolongar a vida útil deste equipamento é necessário executar manutenções preventivas nos períodos estabelecidos, e um dos métodos de determinar contaminação ou defeitos graves de um gerador é pelo ensaio de resistência de isolamento, com isso é possível determinar diretrizes para prolongar e garantir a geração de energia elétrica com eficiência e qualidade, visando o lado financeiro remediar altos custos de manutenções esporádicas possibilitando desta forma o desempenho operacional e financeiro caminhando em paralelo, contribuindo assim para a geração, transmissão e distribuição do nosso país e para o setor financeiro e econômico de nossa empresa.

PALVRAS-CHAVE: resistência de isolamento; gerador; índice de polarização.

1 INTRODUÇÃO

O gerador tem como princípio de funcionamento básico, a transformação de uma energia não elétrica em energia elétrica. Os principais componentes de um gerador são estator, rotor e sistema de excitação (WEG, 2020). Um gerador elementar consiste em uma espira de fio disposta de tal modo que passa a ser gerada em um campo magnético uniforme, e neste há indução de uma tensão no estator. Para ligar a espira (fonte) a um circuito externo (carga) que aproveite a força eletromotriz (fem) induzida, são usados contatos deslizantes. Os polos

norte e sul do ímã que proporciona o campo magnético são as peças polares. A espira de fio que gira dentro do campo é chamada de armadura. As extremidades da espira são ligadas a anéis, chamados anéis coletores, que giram com a armadura. Escovas fazem contato com os anéis coletores e ligam a armadura ao circuito externo (PINHEIRO, 2007).

É de fundamental importância o aterramento elétrico que é um componente fundamental para os sistemas elétricos, além de apresentar elevado grau de importância para o bom desempenho do sistema aterrado e, principalmente, para a segurança de seres vivos (ALIPIO

et al., 2011). Consiste em um sistema utilizado para evitar desequilíbrios na tensão elétrica de uma instalação qualquer, eliminar fugas de energia desbalanceado as fases na rede externa (fornecimento) e prevenir contrachoque elétrico através do contato humano com a carcaça (parte metálica) de equipamentos com falha no isolamento. De forma geral o condutor de proteção é identificado pelas cores verde e amarela ou simplesmente verde, segundo padrão especificado na NBR 5410 (MATTOS, 2018).

A estrutura de uma usina hidrelétrica funciona de maneira integrada e em conjunto, e é formada principalmente, pelo sistema de captação e adução de água, pela barragem e pela casa de força e vertedouro. A função da barragem é interromper o curso normal da água, e criar um reservatório, onde é armazenada a água. Além de armazenar água, este reservatório também permite que a vazão dos rios seja adequada, tanto em períodos chuvosos e de estiagem. A captação da chuva auxilia no volume adequado e uma diferença de altura que é necessária para a geração da energia hidráulica (ANEEL, 2005).

As usinas hidrelétricas sem reservatório de pequenas dimensões, ou o possuem em dimensões menores, são “hidrelétricas a fio d’água”, os seja, este tipo de hidrelétrica utiliza a velocidade da água dos rios, para gerar energia. A ausência de reservatório faz com que em épocas de seca, seja reduzida a capacidade energética produzida pela hidrelétrica, ou em alguns casos, seja desativada em determinados períodos do ano. Os processos de captação e adução se dão por túneis, canais ou condutos metálicos, que levam a água até a casa de força. Na casa de força estão localizadas as turbinas, constituídas por uma série de pás ligadas ao um eixo, sendo que este está conectado ao gerador. Com eficiência que pode chegar a 90%, as turbinas hidráulicas são atualmente as

formas mais eficientes de conversão de energia primária em energia secundária. As turbinas transformam energia cinética, originada do movimento das águas em energia elétrica, durante o movimento giratório das turbinas, que conectadas a geradores produzirão energia elétrica. Após passar pelas turbinas, a água é devolvida ao seu leito natural do rio, através do canal de fuga (CICOGNA, 2003).

Em usinas hidrelétricas, existem três tipos principais de turbinas, dependendo do volume de água ou da diferença de altitude: turbina Francis, turbina Pelton e turbina Kaplan. A turbina Francis é utilizada em casos em que haja diferenças de altura média (de 10 a 300/400 metros) e fluxos de água de 2 a 100 metros cúbicos por segundo. A turbina Pelton é usada para grandes diferenças de altura (entre 300 e 1400 metros) e cursos inferiores a 50 metros cúbicos por segundo, para se obter velocidades mais elevadas. E a turbina Kaplan é uma turbina do tipo axial: o fluxo de água com que faz as hélices girem em direção axial em relação ao eixo de rotação do impulsor. Graças à possibilidade de ajustar o ângulo de incidência das hélices, existe a vantagem de proporcionar um excelente desempenho na presença de pequenas diferenças de altura, mas também com grandes variações de vazão (superiores a 200 metros cúbicos por segundo) (ENEL, 2022).

Nas usinas hidrelétricas são fundamentais os vertedouros, cuja finalidade é permitir a saída de água quando os reservatórios estiverem com os níveis acima do recomendado. O que pode ocorrer devido ao excesso de chuva, ou de vazão. Mais água no reservatório do que o necessário para a geração de energia é outro motivo para a abertura dos vertedouros. Em épocas chuvosas, o vertedouro é aberto para evitar enchentes nas suas proximidades. Podem-se definir vertedouros, como dique, paredes, ou aberturas as quais o líquido

escoa. Pode ser aplicado também aos extravasores das represas ou aos obstáculos das correntes de água (FERNADEZ; ARAUJO; ITO, 2009).

O megômetro, ou megger (conhecido popularmente), é um instrumento utilizado para medir a resistência de isolamento, que basicamente é quantidade de resistência que algum aparelho eletroeletrônico tem entre sua parte que recebe energia elétrica quando ligado e sua parte que deverá estar sempre isolada eletricamente, detectando uma fuga entre esses dois pontos (LEITZKE, 2019).

A resistência de isolamento é a tensão contínua aplicada ao dielétrico dividida 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 (RAMOS, 2021).

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 (MENDES, 2018).

Existem vários tipos de ensaios que são executados nos geradores atualmente que tem como objetivo verificar os materiais do sistema de isolamento de máquinas, degradação térmica, controle do estresse de tensão, descargas parciais em geradores, polaridade das descargas parciais em função do tipo de defeito no gerador, efeito da temperatura, circuito de ensaio e formas de onda típicas, testes de detecção e mecanismos de falhas para diversos tipos de isolamento, localização de curtos-circuitos entre espiras de bobinas polares, ensaio de resposta a impulso, ressonâncias série e paralelo, circuito equivalente da

isolação, exemplos de diagnóstico, cuidados, perdas parasitas e efeito do número de condutores da barra. Como exemplo alguns ensaios executados: tensão aplicada CC em geradores – “HY-POT”, detalhes do método, cuidados, discussão sobre aplicabilidade e limitações, levantamento de características em geradores, ensaio de saturação em vazio, levantamento reta de curto-circuito, obtenção de parâmetros característicos a partir destes ensaios (GAMBOA, 2003).

Segundo o Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE Padrão 43-2000), o efeito da umidade nas máquinas que estão fora de serviço (sem aquecedores de ambiente) são frequentemente testadas quando a temperatura do enrolamento está abaixo do ponto de orvalho e podem ter resistência de isolamento e leituras de índice de polarização significativamente mais baixas do que o esperado devido à contaminação por umidade. Pode ser necessário secar essas máquinas para obter leituras aceitáveis antes de recolocá-las em serviço ou realizar testes de alta tensão. O histórico da máquina, inspeções visuais e outros resultados de testes podem ajudar a avaliar o risco potencial de retornar ao serviço uma máquina com baixa resistência de isolamento e/ou leituras de índice de polarização devido à contaminação por umidade. Recomenda-se que uma máquina com baixo PI e IR não devem ser submetidos a mais testes de alta tensão.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é evidenciar a importância de um gerador a execução das manutenções preventivas e preditivas nos períodos sistemáticos, dentre essas, incluem-se os ensaios de resistência de isolamento, que poderão evidenciar o início de problemas com ele, fazendo com que seja necessário a inspeção visual no equipamento, limpeza,

secagem ou até mesmo uma manutenção programada diminuindo a indisponibilidade do equipamento e prolongar a vida útil do mesmo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Antes de iniciar os ensaios foi necessário que gerador estivesse com todas as liberações contempladas, a unidade geradora foi parada e todos os equipamentos relacionados foram desligados e bloqueados para garantir a segurança dos executores, para o desligamento seguiu-se o protocolo; (1) As conexões do estator foram aterradas com aterramento móvel e (2) Todas as derivações de equipamentos de proteção foram desconectadas do gerador para que os valores dos ensaios não tenham influências externas.

No ensaio do estator foram desconectadas as cordoalhas das três fases do fechamento de neutro e as cordoalhas de fase de saída, desta forma, o gerador permaneceu isolado de influências externas. Do rotor foi retirado as escovas de carvão em contato com os anéis coletores ou derivações para que não houvesse influência externa no ensaio.

O ensaio contemplou um medidor de resistência de isolamento e um termo-higrômetro. Nos ensaios são foi realizado em 10 minutos. No estator o ensaio pode ser trifásico ou monofásico (um ensaio para cada fase) e no rotor é somente executado um ensaio. Os medidores de resistência de isolamento seguem o mesmo princípio, como referência será utilizado o Megger S1-1568.

No instrumento Megger S1-1568 foram utilizados dois cabos, o vermelho que se conectou no positivo e o cabo preto que se conectou no negativo. O instrumento foi alimentado em uma fonte 127V ou 220V ou utilizou-se a bateria interna do mesmo. O cabo vermelho foi conectado na fase a ser ensaiada ou no rotor e o cabo preto foi conectado a terra do local.

No ensaio trifásico do estator interligou-se as três fases para que se efetuasse somente um ensaio, foi conectado o cabo vermelho no circuito trifásico, ajustou-se o valor de tensão a 10.000 V ou mais e iniciou-se o ensaio. Em uma prancheta, anotaram-se os seguintes valores medidos no instrumento nos tempos 15s, 30s, 45s, 1min, 1min30s, 2min, 2min30seg, 3min, 4min, 5min, 6min, 7min, 8min, 9min e 10min.

Após o término do ensaio, aguardou-se o valor de tensão ser menor que 30 V no *display* do instrumento e colocou-se o aterramento móvel temporário nas três fases.

Foram anotados os dados da temperatura ambiente (°C) e a umidade relativa (%) pelo termo-higrômetro bem como a temperatura do cobre do equipamento.

No ensaio monofásico do estator foi executado o ensaio de resistência de isolamento das fases individualmente seguindo o mesmo procedimento trifásico, entretanto, ao executar o ensaio na fase A, as fases B e V permaneceram aterradas com o aterramento móvel temporário, ao executar o ensaio na fase B, as fases A e B permaneceram aterradas com o aterramento móvel temporário, ao executar o ensaio na fase B, as fases A e B permaneceram aterradas com o aterramento móvel temporário.

No rotor, o ensaio foi executado com valor de 500 V no instrumento (conforme gerador citado anteriormente), o cabo vermelho deve ser conectado em um dos polos do anel coletor e o cabo preto deve ser conectado no ponto de terra do local, numa prancheta foi anotado os valores medidos no instrumento nos seguintes tempos 30s, 1min e 10min. Os valores obtidos foram analisados e arquivados para que servissem de referência e histórico do equipamento.

4 RELATO DO CASO

Em uma usina hidrelétrica de

grande porte localizada no Mato Grosso do Sul houve uma manutenção corretiva, no qual, executou-se o acompanhamento da resistência de isolamento de seus geradores enquanto estavam em manutenção.

Após a parada da unidade geradora devido um curto-circuito na fase A

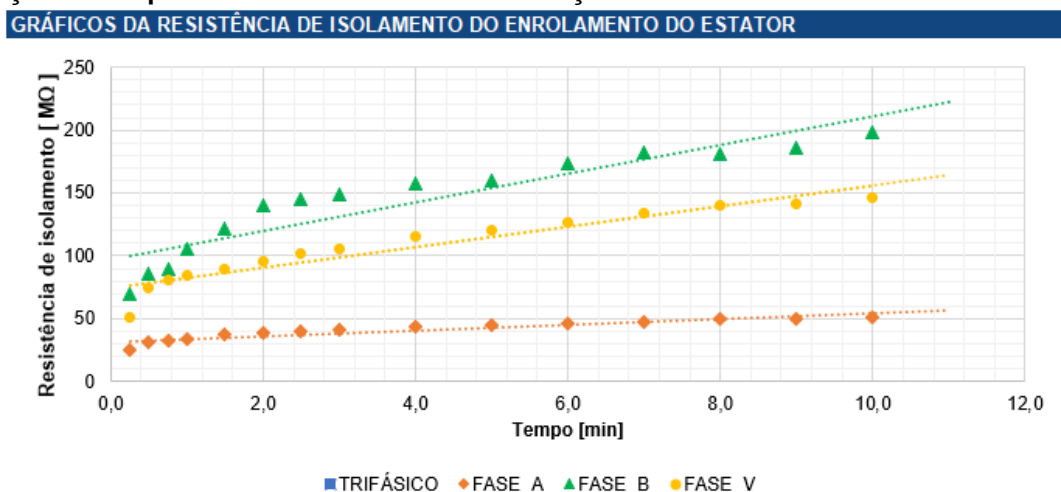
do estator executaram-se os ensaios de resistência de isolamento no equipamento com o intuito de constatar a situação atual do mesmo para direcionar o início da manutenção corretiva. Os valores obtidos estão mostrados na Tabela 1 e plotados no Gráfico 1, para melhor visualização.

Tabela 1. Resistência de isolamento do estator antes da manutenção.

MEDIÇÕES DE RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO DO ENROLAMENTO DO ESTATOR							
TRIFÁSICO ABV / T		FASE A A / BVT		FASE B B / AVT		FASE V V / ABT	
Tempo [min]	Resistência [MΩ]	Tempo [min]	Resistência [MΩ]	Tempo [min]	Resistência [MΩ]	Tempo [min]	Resistência [MΩ]
0,25		0,25	25	0,25	70	0,25	51
0,50		0,50	31	0,50	86	0,50	75
0,75		0,75	32	0,75	90	0,75	81
1,00		1,00	34	1,00	105	1,00	85
1,50		1,50	37	1,50	121	1,50	90
2,00		2,00	39	2,00	140	2,00	96
2,50		2,50	40	2,50	145	2,50	102
3,00		3,00	41	3,00	149	3,00	106
4,00		4,00	43	4,00	157	4,00	116
5,00		5,00	45	5,00	160	5,00	120
6,00		6,00	47	6,00	174	6,00	127
7,00		7,00	48	7,00	182	7,00	134
8,00		8,00	49	8,00	181	8,00	140
9,00		9,00	50	9,00	186	9,00	141
10,00		10,00	51	10,00	198	10,00	146
I. P.	#DIV/0!	I. P.	1,49	I. P.	1,89	I. P.	1,72

Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 1. Valores da resistência de isolamento em mega ohms das três fases em relação ao tempo em minutos antes da manutenção.



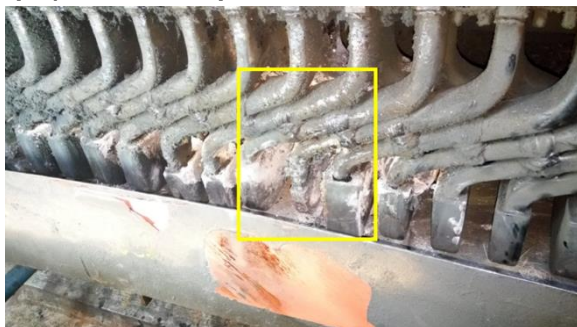
Fonte: Elaborado pelos autores.

Evidenciou-se a anormalidade no estator, constatando a baixa resistência de isolamento do equipamento, no qual, os índices de polarização das três fases deram 1,49 na fase A, 1,89Ω na fase B e 1,72Ω na fase V, ou seja, segundo a IEC

60085-01:1984 equipamentos com classificação de classe térmica F, o valor mínimo aceitável é 2,0. Devido à proteção do equipamento evidenciou-se uma anormalidade e era necessária uma manutenção corretiva, porém estes ensaios

iniciais seriam apenas para ter uma referência de valores para as demais fases e como histórico para o equipamento.

Figura 1. Anormalidade na fase A (em destaque) do lado acoplado do estator.

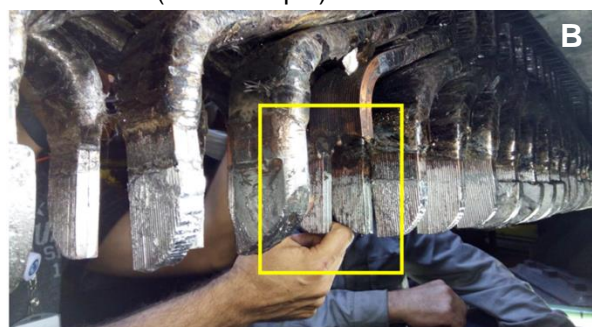
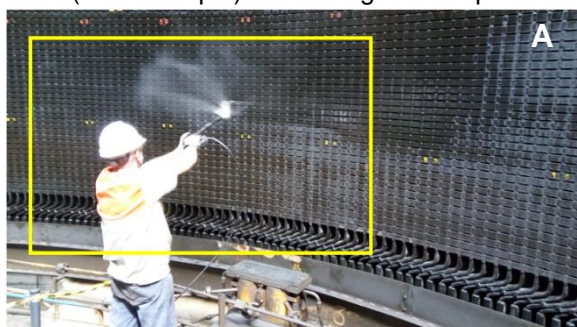


Fonte: Elaborado pelos autores (fotografia).

Após desmontagem da unidade geradora constatou-se a anormalidade no estator (Figura 1). Iniciou-se então, os processos para a manutenção corretiva composta por limpeza, reparo ou substituição da bobina danificada, isolamento elétrico dos pontos danificados, pintura, e todos os ensaios necessários para garantia do retorno do equipamento para a geração de energia elétrica.

A Figura 2 apresenta o processo de limpeza pela retirada do pó ambiente e lavagem com solvente isolante (Figura 2A) e de brasagem (Figura 2B) do local danificado.

Figura 2. Processo de limpeza da manutenção corretiva. A. Lavagem do estator com solvente isolante (em destaque). B. Brasagem e limpeza do local danificado (em destaque).



Fonte: Elaborado pelos autores (fotografia).

Após a brasagem, iniciou-se o processo de isolamento elétrico do estator para garantir a classificação de classe térmica F de fábrica (Figura 3).

Figura 3. Processo de isolamento (em destaque) elétrico das bobinas do estator no lado acoplado.



Fonte: Elaborado pelos autores (fotografia).

Após o processo de manutenção corretiva, executaram-se ensaios de resistência de isolamento para acompanhar

se os valores estão satisfatórios. Os valores obtidos estão mostrados na Tabela 2 e plotados no Gráfico 2, para melhor visualização.

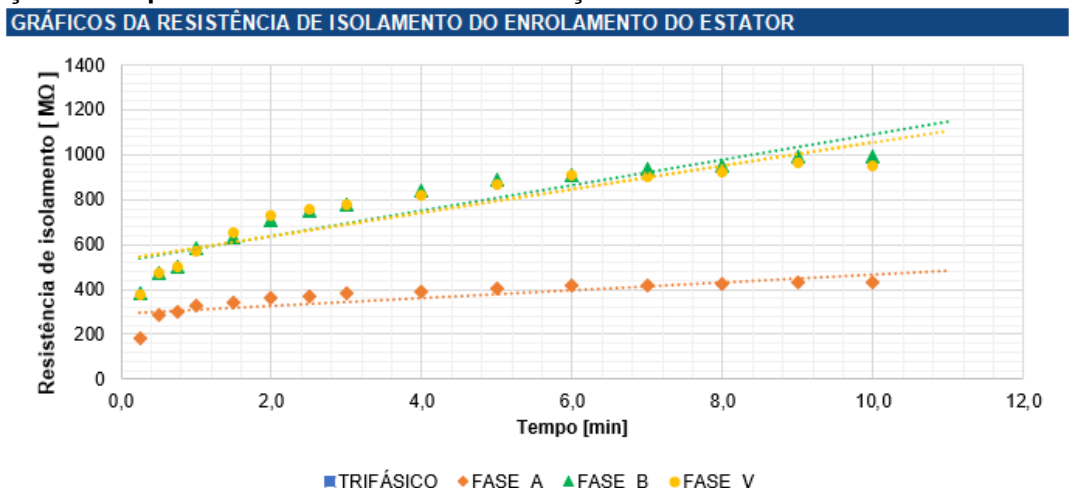
Apesar dos valores terem evoluído com relação aos valores iniciais, notou-se que os valores de índices de polarização ainda estavam baixos ($< 2,0$) devido à presença de umidade e temperatura do estator. Desta forma, acenderam-se refletores com lâmpadas de vapor de mercúrio (Figura 4A) sob o local em que houve a manutenção corretiva, e ligaram-se as resistências de aquecimento (Figura 4B) do local para expulsão da umidade do local; observou-se melhora dos valores da resistência de isolamento do estator. A Figura 5 mostra os refletores acesos sob o local onde houve a manutenção corretiva.

Tabela 2. Resultados da resistência de isolamento do estator acompanhamento após manutenção.

MEDIÇÕES DE RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO DO ENROLAMENTO DO ESTATOR							
TRIFÁSICO ABV / T		FASE A A / BVT		FASE B B / AVT		FASE V V / ABT	
Tempo [min]	Resistência [MΩ]	Tempo [min]	Resistência [MΩ]	Tempo [min]	Resistência [MΩ]	Tempo [min]	Resistência [MΩ]
0,25		0,25	181	0,25	381	0,25	374
0,50		0,50	285	0,50	473	0,50	473
0,75		0,75	301	0,75	502	0,75	501
1,00		1,00	325	1,00	581	1,00	571
1,50		1,50	342	1,50	630	1,50	653
2,00		2,00	363	2,00	710	2,00	727
2,50		2,50	371	2,50	749	2,50	754
3,00		3,00	380	3,00	776	3,00	776
4,00		4,00	392	4,00	839	4,00	822
5,00		5,00	404	5,00	891	5,00	865
6,00		6,00	415	6,00	912	6,00	909
7,00		7,00	417	7,00	940	7,00	901
8,00		8,00	424	8,00	951	8,00	923
9,00		9,00	433	9,00	990	9,00	967
10,00		10,00	434	10,00	994	10,00	954
I. P.	#DIV/0!	I. P.	1,34	I. P.	1,71	I. P.	1,67

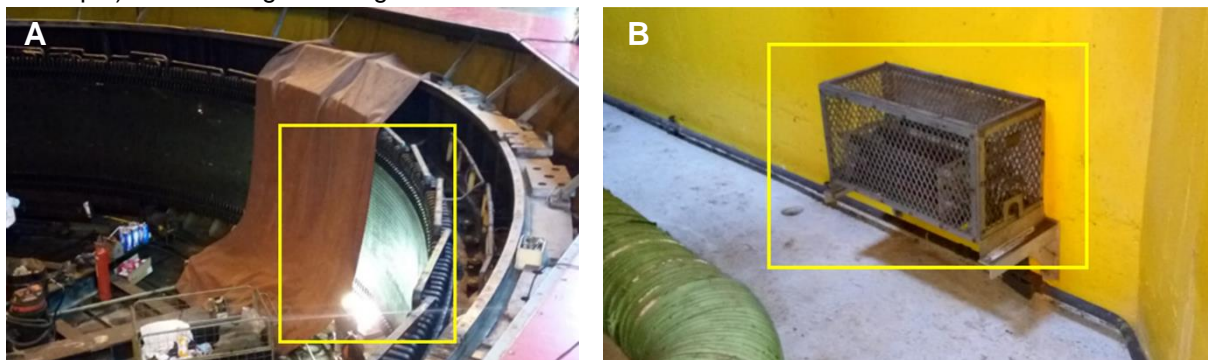
Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 2. Valores da resistência de isolamento em mega ohms das três fases em relação ao tempo em minutos antes da manutenção.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 4. Desumidificação do local após realização da manutenção corretiva. A. Refletores acesos (em destaque) sob o local que houve a manutenção corretiva. B. Resistências de aquecimento (em destaque) da sala do gerador ligadas.



Fonte: Elaborado pelos autores (fotografia).

Após um período com as resistências de aquecimento e refletores ligados foram executados ensaios de resistência de isolamento. Com os valores satisfatórios, foram executados outros ensaios para garantir que a manutenção

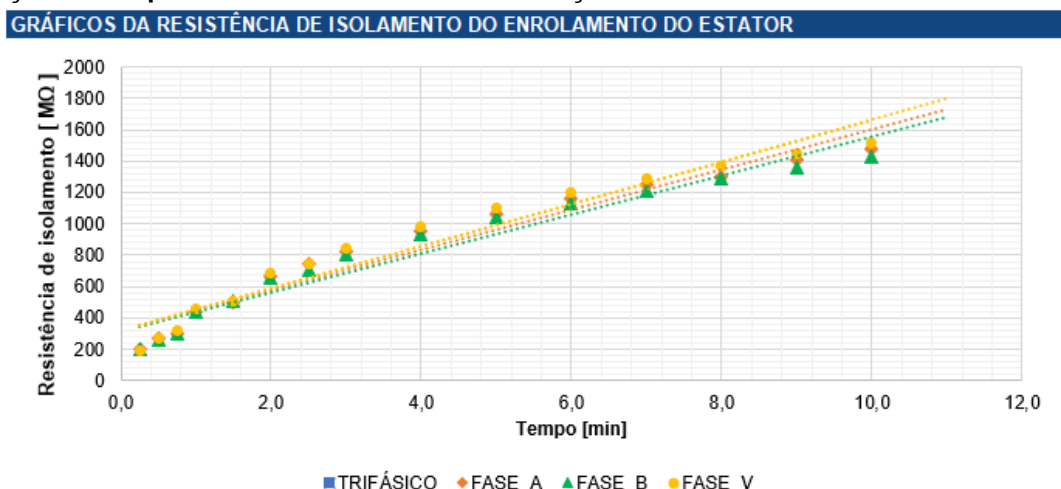
corretiva foi efetiva e que o equipamento pode ser montado e voltar a geração de energia elétrica. Os valores obtidos estão mostrados na Tabela 3 e plotados no Gráfico 3, para melhor visualização.

Tabela 3. Resultados da resistência de isolamento do estator após manutenção e secagem.

MEDIÇÕES DE RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO DO ENROLAMENTO DO ESTATOR							
TRIFÁSICO ABV / T		FASE A A / BVT		FASE B B / AVT		FASE V V / ABT	
Tempo [min]	Resistência [MΩ]	Tempo [min]	Resistência [MΩ]	Tempo [min]	Resistência [MΩ]	Tempo [min]	Resistência [MΩ]
0,25		0,25	200	0,25	201	0,25	189
0,50		0,50	269	0,50	264	0,50	274
0,75		0,75	304	0,75	305	0,75	318
1,00		1,00	443	1,00	436	1,00	459
1,50		1,50	502	1,50	506	1,50	507
2,00		2,00	663	2,00	653	2,00	689
2,50		2,50	748	2,50	709	2,50	741
3,00		3,00	820	3,00	801	3,00	849
4,00		4,00	952	4,00	931	4,00	986
5,00		5,00	1060	5,00	1040	5,00	1100
6,00		6,00	1160	6,00	1130	6,00	1200
7,00		7,00	1250	7,00	1210	7,00	1290
8,00		8,00	1300	8,00	1290	8,00	1370
9,00		9,00	1410	9,00	1360	9,00	1450
10,00		10,00	1480	10,00	1430	10,00	1520
I. P.	#DIV/0!	I. P.	3,34	I. P.	3,28	I. P.	3,31

Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 3. Valores da resistência de isolamento em mega ohms das três fases em relação ao tempo em minutos antes da manutenção.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Após os ensaios aprovados de resistência de isolamento foram executados os ensaios de corrente de fuga e tensão aplicada e após todos os ensaios aprovados, se faz a montagem do gerador.

Os procedimentos em rotor não são diferentes de estator, entretanto,

conforme mencionado anteriormente os valores obtidos nos ensaios de resistência de isolamento para serem aprovados podem ter o Índice de polarização maior que 1,0 e de acordo com o histórico do equipamento.

Em paralelo a manutenção

corretiva do estator fez se necessário acompanhar a resistência de isolamento do rotor, antes da manutenção, durante e após a manutenção do equipamento. Conforme mencionado anteriormente, como o equipamento ficou fora de operação, com a temperatura se igualando a ambiente somando as condições do equipamento a resistência de isolamento

tende a diminuir, dessa forma os cuidados foram os mesmo com o rotor: executar limpeza com ar comprimido para retirada de pó, limpeza com solvente isolante e aquecimento com refletores com lâmpadas de vapor de sódio ou mercúrio com o intuito de aquecer os polos do rotor e expulsar a umidade. Os valores obtidos estão mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados da resistência de isolamento do rotor antes da manutenção.

MEDIÇÕES DE RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO DO ENROLAMENTO DO ROTOR						
Tempo	[min]	0,50	[min]	1,00	[min]	10,00
Resistência de isolamento	[MΩ]	1,85	[MΩ]	1,85	[MΩ]	1,85
Índice de Polarização (normalmente próximo de 1 em rotores)					[-]	1,00

Fonte: Elaborada pelos autores

Conforme Tabela 4, os valores de índice de polarização estão no limite considerados como satisfatórios, além dos valores obtidos serem muito baixos, dessa forma se fez necessários executar as manutenções corretivas conforme mencionadas anteriormente. A Figura 5 mostra a limpeza no rotor.

Após os procedimentos de limpeza e manutenção executou-se ensaio de resistência de isolamento de acompanhamento. Os valores obtidos estão mostrados na Tabela 5.

Figura 5. Limpeza com ar comprimido no rotor (em destaque).



Fonte: Elaborado pelos autores (fotografia).

Tabela 5. Resultados da resistência de isolamento do rotor após limpeza.

MEDIÇÕES DE RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO DO ENROLAMENTO DO ROTOR						
Tempo	[min]	0,50	[min]	1,00	[min]	10,00
Resistência de isolamento	[MΩ]	23,1	[MΩ]	25,3	[MΩ]	28,3
Índice de Polarização (normalmente próximo de 1 em rotores)					[-]	1,12

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 6. Lâmpadas acesas sob o rotor (em destaque).



Fonte: Elaborado pelos autores (fotografia).

Constatou-se que os valores de resistência de isolamento melhoraram, entretanto, ainda foi possível, que estes valores se elevem, dessa forma, assim como no estator, se fez necessário colocar sob o rotor em toda sua circunferência lâmpadas de vapor de mercúrio ou de sódio para aquecer os polos e expulsar a umidade melhorando assim a resistência de isolamento dele (Figura 6).

Após serem instaladas as lâmpadas os ensaios de resistências de isolamento são executados com o intuito de acompanhar a evolução dos resultados

e após os valores obtidos serem satisfatórios o rotor instalado no local e normaliza-se o equipamento. Os valores obtidos estão mostrados na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados da resistência de isolamento do rotor final.

MEDIÇÕES DE RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO DO ENROLAMENTO DO ROTOR						
Tempo	[min]	0,50	[min]	1,00	[min]	10,00
Resistência de isolamento	[MΩ]	73,9	[MΩ]	93,5	[MΩ]	140,0
Índice de Polarização (normalmente próximo de 1 em rotores)					[]	1,50

Fonte: Elaborado pelos autores.

5 CONCLUSÕES

O gerador é um equipamento muito importante, gera energia elétrica auxiliando o sistema interligado mantendo a população em conforto e as indústrias em produção, para que isso seja prevalido o gerador deve estar com as manutenções em dia, e uma delas é saber como estão seus circuitos incluindo os ensaios de resistência de isolamento, que poderão evidenciar o início de problemas com ele, fazendo com que seja necessário a inspeção visual no equipamento, limpeza, secagem ou até mesmo uma manutenção corretiva que podem ser a existência de umidade ou fissuras no isolamento que são contribuintes para que o gerador inicie uma baixa resistência de isolamento causando diminuição da vida útil do equipamento ou até mesmo indisponibilizando o mesmo prejudicando o sistema interligado causando consequências para nossa sociedade.

REFERÊNCIAS

CTG Brasil, MM-ILS-003.03.01 Manual ensaios geradores, Mato Grosso do Sul, 2020.

CTG Brasil, testes elétricos no enrolamento do estator e/ou rotor: medição resistência de isolamento, IA, IP, 2019.

ENEL, G. P., Turbina hidrelétrica Francis, Pelton e Kaplan: três nomes para

três maneira diferentes de aproveitar o poder dos cursos d'água.

GAMBOA, L. R. A. Ensaios elétricos em equipamentos de subestações e usinas, Paraná, 2003.

IEEE Std 43-2000 (Revision of IEEE Std 43-1974).

LAZZARE, K. Geração de energia elétrica através da energia hidráulica e seus impactos ambientais, Rio Grande do Sul, 2013.

LEITZKE, M. P., Instrumentação e medidas eletroeletrônicas, 2018.

LIMA, M. T. S., Planejamento e organização das atividades de manutenção em instalações elétricas prediais e seus componentes.

MEGGER, Manual S1-1568 Part No. S1568-S11068-S11568-ug-en_V03.

MERSEN, Escovas de carvão.

NISHI, Motor de indução – rotor bobinado e gaiola de esquilo.

OURA, J. M., Proteções da unidade geradora.

PEA -2400., Máquinas elétricas I.

PRAMAC, Geradores de energia.

RAMOS, R. O. Ensaio em Geradores

Paulo, 2018.

SILVA, G., M., Ensaio de resistência de isolamento em gerador síncrono trifásico: Manutenção Preventiva Periódica 2, São

WEG, DT-5 Características e especificações de geradores, Santa Catarina, 2020.