UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
EEL7051 – Materiais Elétricos - Laboratório

EXPERIÊNCIA 03
ENSAIO DE FIOS CONDUTORES

1 INTRODUÇÃO

Esta aula tem como objetivo principal diagnosticar um fio condutor rígido de cobre isolado para energia elétrica. Para isto serão realizadas verificações dimensionais e das características elétricas e físico-químicas, quais sejam:

- Diâmetro externo do fio isolado;
- Espessura da isolação;
- Diâmetro do fio condutor;
- Seção do fio condutor;
- Massa específica;
- Resistência do condutor;
- Resistência do isolamento.

Os condutores elétricos são elementos essenciais nos circuitos elétricos, e sem dúvida constituem os componentes presentes em maior quantidade nos mesmos. Numa instalação elétrica, a qualidade dos condutores é fundamental para o funcionamento adequado do circuito, garantindo-se que o circuito terá eficiência alta (poucas perdas), evitando aquecimento, desperdício de energia na forma de calor e acidentes por sobreaquecimento.

Desta forma, os ensaios realizados nesta aula são importantes para o estudante se familiarizar com as características mínimas que um condutor deve ter para atender as normas técnicas da ABNT e, assim, desempenhar seu papel nos circuitos elétricos.

2 CARACTERÍSTICAS DO CONDUTOR

Anotar as principais características do condutor: marca, fabricante, bitola, tipo de material, tensão de isolamento.

O condutor deverá apresentar as informações a cada 50 cm.

3 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO FIO

Os procedimentos para determinar a resistência do condutor são:

- Conectar o fio nos isoladores através dos conectores. A conexão é apenas mecânica, não sendo necessário retirar a isolação;
- Retirar a isolação apenas no local onde será feita a conexão das garras do instrumento, tomando o cuidado de mantê-las encostadas durante a medição e que a distância entre as garras externas seja de 1 m, exatamente;
- Ligar o microhmímetro na escala de 200 Ω , em seguida selecionar a escala apropriada até que o valor da resistência se apresente com duas casas decimais após a vírgula;

- Medir o valor da resistência e anotar a temperatura ambiente;
- Com o valor obtido aplica-se o fator de correção de temperatura conforme a tabela 1;
- Comparar o valor corrigido com os valores da tabela 2.

Concluir se o condutor se enquadra da norma ou não.

4 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO ISOLAMENTO

Os procedimentos para determinar a resistência de isolamentos serão:

- Deixar o fio submerso em água condutora (água+sal) por um tempo não inferior a 6 horas, à temperatura ambiente. O comprimento da parte submersa do fio deverá ser medido (1 m). Tomar cuidado para que a água não entre em contato com o cobre, ou penetre entre o cobre e a isolação;
- A medição deve ser feita com tensão elétrica contínua, de valor (300 a 500) V, aplicada por um tempo mínimo de 1 minuto;
- O valor obtido pelo megohmetro, para a resistência de isolamento, referido a 20 °C e para o comprimento de 1 km, não deverá ser inferior ao valor calculado conforme:

$$R_i = K_i \cdot \log_{10} \left(\frac{D}{d} \right) \quad \text{onde:}$$

- R_i = resistência de isolamento em MΩkm;
- K_i = constante de isolamento igual a 185 MΩkm, que corresponde a uma resistividade volumétrica de 10^{13} Ωcm;
- D = diâmetro sobre a isolação em mm;
- d = diâmetro sob a isolação em mm.
- Quando a temperatura ambiente for diferente de 20 °C o valor obtido pela expressão acima deverá ser referido à temperatura ambiente conforme a tabela 3.

Concluir se o condutor se enquadra da norma ou não.

5 MEDIÇÃO DO DIÂMETRO EXTERNO (De) DO FIO ISOLADO

Para a medição do diâmetro externo (De) do fio isolado devem ser seguidos os seguintes procedimentos:

- Tomar uma amostra de 11 cm de comprimento do fio isolado;
- Marcar os pontos de medição conforme as guias no suporte, equidistantes das extremidades do fio;
- A medição é feita com um micrômetro em um ponto (preferencialmente no centro) da amostra em duas direções perpendiculares entre si e dados em mm, com dois algarismos decimais;
- O $D_e = D_{\text{médio}}$ será dado pela média aritmética das duas medições naquele ponto, no caso o centro da amostra;
- As outras medições serão necessárias para determinar a espessura da isolação do fio.

6 MEDIÇÃO DO DIÂMETRO DO FIO (Df)

O diâmetro do fio (Df) sem isolamento é obtido conforme:

- Retirar a isolação da amostra de 11 cm usada no item anterior;
- Marcar os mesmos pontos que foram medidos no item anterior, conforme as guias no suporte, eqüidistantes das extremidades do fio;
- A medição é feita segundo duas direções perpendiculares entre si, com um micrômetro de leituras decimais;
- O valor adotado, pela média aritmética, deverá ser dado em mm e com dois algarismos decimais;
- Os valores deverão satisfazer ao valor nominal com uma tolerância de $\pm 1\%$ adotando o valor até o centésimo de mm sem arredondamento;
- A ovalização do fio será a diferença entre as leituras efetuadas nas duas direções.

Concluir se o condutor se enquadra da norma ou não.

7 MEDIÇÃO DA ESPESSURA DA ISOLAÇÃO

A espessura da isolação é determinada conforme segue:

- Na amostra de 11 cm de fio, devem ser feitas seis (06) medidas, igualmente espaçadas, com um micrômetro, do diâmetro do fio (Df), nos mesmos locais onde foram realizadas as medidas do diâmetro externo (De), e os resultados apresentados em mm, com dois algarismos decimais;
- A espessura média da isolação não deve ser inferior à apresentada na tabela 4;
- A espessura mínima verificada, no tocante a tolerância, pode ser inferior ao valor nominal especificado, contanto que a diferença não exceda 0,1 mm + 10% do valor nominal especificado.

Concluir se o condutor atende as especificações ou não.

8 CÁLCULO DA ÁREA DE SEÇÃO TRANSVERSAL

A seção transversal (bitola) do condutor pode ser obtida de acordo com a expressão a seguir:

$$S = 0,7854 \cdot D^2 \left[mm^2 \right] \text{ onde } D \text{ é o diâmetro médio do fio em mm.}$$

Comparar com a seção nominal do condutor.

9 MEDIÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONDUTOR

A medição da massa específica é realizada seguindo:

- Tomar uma amostra de fio sem isolação com comprimento mínimo de 50 cm. É importante não tocar na amostra para evitar o contato de gordura das mãos;
- Medir a massa do condutor e calcular a densidade usando a expressão a seguir:

$$\mu = \frac{m}{V} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad V = l \cdot S \left[m \cdot m^2 \right] \text{ onde:}$$

- μ = massa específica em kg/m^3 ;
- m = massa da amostra em kg;
- V = volume em m^3 ;

- l = comprimento em m;
- S = seção em m^2 .
- De acordo com a norma NBR 5111:1997, a massa específica do cobre deve ser considerada igual a 8890 kg/m^3 , a $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentar num relatório os valores obtidos no ensaio, comparando-os com os valores da norma respectiva e para cada item concluir se a amostra está dentro da norma ou não.

É interessante discutir também as condições do ensaio, possíveis aproximações ou não-idealidades nas medidas realizadas e como estas podem ter afetado os resultados obtidos.

11 ANEXOS

As tabelas apresentadas a seguir foram extraídas das normas técnicas e servem para correção ou comparação direta. Em alguns casos as normas podem estar desatualizadas, mas o exercício de fazer a verificação normativa de condutores é importante para o engenheiro e os procedimentos com normas atualizadas variam muito pouco em relação aos realizados em aula.

Tabela 1 – Fatores de correção de temperatura (NBR 6880:1997).

Temperatura do condutor no momento da medição (t) °C	Fator de correção K_t
5	1,063
6	1,058
7	1,054
8	1,049
9	1,045
10	1,041
11	1,037
12	1,032
13	1,028
14	1,024
15	1,020
16	1,016
17	1,012
18	1,008
19	1,004
20	1,000
21	0,996
22	0,992
23	0,988
24	0,985
25	0,981
26	0,977
27	0,973
28	0,970
29	0,966
30	0,962
31	0,959
32	0,955
33	0,951
34	0,948
35	0,944
36	0,941
37	0,937
38	0,934
39	0,931
40	0,927

Tabela 2 – Condutores sólidos (NBR 6880:1997).

Seção nominal mm ²	Resistência elétrica máxima do condutor a 20 °C	
	Fios nus Ω/km	Fios revestidos Ω/km
0,5	36,0	36,7
0,75	24,5	24,08
1	18,1	18,2
1,5	12,1	12,2
2,5	7,41	7,56
4	4,61	4,70
6	3,08	3,11
10	1,83	1,84
16	1,15	1,16
25	0,727 ¹	-
35	0,524 ¹	-
50	0,387 ¹	-
70	0,268 ¹	-
95	0,198 ¹	-
120	0,153 ¹	-
150	0,124 ¹	-

¹Condutores sólidos de seção acima de 16 mm² para produtos especiais.

Tabela 3 – Fatores para correção da resistência de isolamento em função da temperatura (NBR 6148:1980).

Temperatura ambiente °C	Fator de correção Coeficiente por 1 °C = 1,17
5	0,10
6	0,11
7	0,13
8	0,15
9	0,18
10	0,21
11	0,25
12	0,29
13	0,34
14	0,39
15	0,46
16	0,54
17	0,63
18	0,74
19	0,86
20	1,00
21	1,17
22	1,37
23	1,60
24	1,88
25	2,19
26	2,56
27	3,00
28	3,50
29	4,09
30	4,78
31	5,59
32	6,54
33	7,64
34	8,93
35	10,44
36	12,20
37	14,26
38	16,67
39	19,49
40	22,78

Tabela 4 – Espessuras da isolação (NBR 6814:1985).

Seção do condutor mm²	Espessura da isolação mm
0,5	0,6
0,75	0,6
1	0,6
1,5	0,7
2,5	0,8
4	0,8
6	0,8
10	1,0
16	1,0
25	1,2
35	1,2
50	1,4
70	1,4
95	1,6
120	1,6
150	1,8
185	2,0
240	2,2
300	2,4
400	2,6
500	2,8
630	3,0
800	3,2
1000	3,4

12 FOLHA DE DADOS (ALUNOS)

Equipe _____ Aula: _____ Data: ____/____/____

Nome: _____

Nome: _____

Nome: _____

Fabricante do fio: _____ Seção: _____ mm²

Resistência do fio	
Resistência [mΩ]	Temperatura ambiente [°C]

Resistência do isolamento	
Resistência [MΩ]	Temperatura ambiente [°C]

Diâmetro externo (De) do fio isolado		
Posição da medida	Direção 1	Direção 2 Perpendicular a direção 1
Ponto 1		
Ponto 2		
Ponto 3		
Ponto 4		
Ponto 5		
Ponto 6		
Meio do fio		

Diâmetro do fio (Df) e espessura da isolação		
Posição da medida	Direção 1	Direção 2 Perpendicular a direção 1
Ponto 1		
Ponto 2		
Ponto 3		
Ponto 4		
Ponto 5		
Ponto 6		
Meio do fio		

Massa do condutor
m [g]

13 FOLHA DE DADOS (PROFESSOR)

Equipe _____ Aula: _____ Data: ____/____/____

Nome: _____

Nome: _____

Nome: _____

Fabricante do fio: _____ Seção: _____ mm²

Resistência do fio	
Resistência [mΩ]	Temperatura ambiente [°C]

Resistência do isolamento	
Resistência [MΩ]	Temperatura ambiente [°C]

Diâmetro externo (De) do fio isolado		
Posição da medida	Direção 1	Direção 2 Perpendicular a direção 1
Ponto 1		
Ponto 2		
Ponto 3		
Ponto 4		
Ponto 5		
Ponto 6		
Meio do fio		

Diâmetro do fio (Df) e espessura da isolação		
Posição da medida	Direção 1	Direção 2 Perpendicular a direção 1
Ponto 1		
Ponto 2		
Ponto 3		
Ponto 4		
Ponto 5		
Ponto 6		
Meio do fio		

Massa do condutor
m [g]