



**Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Educação a Distância da UFSM – EAD
Universidade Aberta do Brasil – UAB**

**Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos
Processos Produtivos**

Polo: Vila Flores

**COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA DE CABOS
ISOLADOS COM POLICLORETO DE VINILA (PVC) PARA
TENSÕES NOMINAIS ATÉ 450/750V E SUA CONTRIBUIÇÃO
NAS PERDAS ELÉTRICAS**

FERRANTI, Rodrigo¹

CAUDURO, Carlos Roberto²

¹ Engenheiro Eletricista. Universidade de Santa Maria, Santa Maria, RS

² Dr. Engenheiro Mecânico. Professor(a) Orientador. Universidade de Santa Maria, Santa Maria, RS

RESUMO

Este estudo avalia o desempenho de condutores elétricos flexíveis de seis marcas a venda no mercado brasileiro no critério resistência elétrica e sua influência direta nas perdas elétricas. Através da utilização dos métodos de medição e cálculo da resistência elétrica buscou-se responder a pergunta: os cabos elétricos a venda no mercado apresentam diferenças nas perdas elétricas decorrente da sua resistência elétrica? Como resultado, obtiveram-se valores de resistências pouco homogêneos principalmente nos condutores de seções 1,5 e 2,5 mm². Ainda, identificaram-se cabos totalmente em desacordo com as resistências máximas normatizadas. Para o grupo de marcas de condutores em estudo, concluiu-se que a observância da resistência elétrica dos cabos é importante para um projeto visando eficiência energética, a fim de atuar na diminuição das perdas elétricas.

PALAVRAS-CHAVE: Condutores Elétricos Flexíveis, Resistência Elétrica, Perdas Elétricas.

ABSTRACT

This study evaluates the performance of flexible electrical conductors of six tags for sale in the Brazilian market in electrical resistance criterion and its direct influence on the electrical losses. By using the methods of measurement and calculation of electrical resistance sought to answer the question: electrical cords sale on the market having different electrical losses due to its electrical resistance? As a result, we obtained some homogeneous resistance of amounts in the conductors of sections 1.5 and 2.5 mm². Still, we identified cables completely disagree with the maximum normalized resistance. For the drivers of brand group study, it was concluded that the observance of the electrical resistance of the cables is important for a project to energy efficiency in order to act to lower the electrical losses.

KEYWORDS: Flexible Electrical Conductors, Electrical resistance, Electrical Losses.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - ESQUEMA MEDIÇÃO ATRAVÉS DE PONTE DUPLA DE KELVIN.	15
FIGURA 2 - RESISTÊNCIA ELÉTRICA DO CABO VERSUS NBR NM 280.	19

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CABOS FLEXÍVEIS - RESISTÊNCIA ELÉTRICA MÁXIMA POR QUILOMETRO.	10
TABELA 2 - MEDIÇÕES DE CORRENTE, TENSÃO, TEMPERATURA E COMPRIMENTO, POR SEÇÃO E MARCA DOS CABOS FLEXÍVEIS.	16
TABELA 3 - CÁLCULO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA DOS CABOS.	17
TABELA 4 - RESISTÊNCIA ELÉTRICA CORRIGIDA PARA 20°C E 1 km.	18
TABELA 5 - RELAÇÃO ENTRE AS MARCAS DE CABOS.	20
TABELA 6: ESTIMATIVA DAS INCERTEZAS DA RESISTÊNCIA DOS FIOS DE COBRE.	22

SUMÁRIO

RESUMO	2
ABSTRACT	3
1 INTRODUÇÃO	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS CONDUTORES ELÉTRICOS	9
2.2 CABOS ISOLADOS COM POLICLORETO DE VINILA (PVC) PARA TENSÕES NOMINAIS ATÉ 450/750V	10
2.2.1 Características Construtivas dos Cabos de PVC, 450/750V quanto a Resistência Elétrica	10
2.3 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA	11
2.4 MÉTODO DE ENSAIO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA	11
2.4.1 Aparelhagem	11
2.4.2 Execução do Ensaio	12
2.5 POTÊNCIA ELÉTRICA DISSIPADA NO CABO	13
3 OBJETIVOS	14
3.1 OBJETIVO GERAL	14
3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	14
4 METODOLOGIA	14
4.1 A AMOSTRA	14
4.2 O EXPERIMENTO E AS MEDIÇÕES	14
4.3 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA	16
4.4 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA CORRIGIDA	17
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18

5.1	VERIFICAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS ELÉTRICAS DOS CABOS ELÉTRICOS E O ATENDIMENTO A NORMA NBR NM 280	18
5.2	COMPARAÇÃO ENTRE AS MARCAS DE CABOS	20
5.3	RELAÇÃO DA MARCA DO CABO COM AS PERDAS ELÉTRICAS	21
5.4	ESTIMATIVA DA PROPAGAÇÃO DE ERROS	22
6	CONCLUSÕES	23
7	REFERÊNCIAS	24

1 INTRODUÇÃO

Cabos flexíveis com isolamento de policloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450/750V são largamente utilizados em instalações elétricas em geral. A escolha do cabo, na maioria das vezes se dá por critérios subjetivos. A simples observância se o cabo foi confeccionado em conformidade com as normas e apresenta o selo do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO aparenta ser um bom atestado de qualidade. Porém, de forma empírica, pelo simples manuseio e visão do cabo observam-se diferenças de flexibilidade, rugosidade do isolante, massa, liga metálica, entre outros quesitos.

Dentre esta diversidade de quesitos, a liga metálica influencia diretamente na eficiência do cabo. Uma das formas para se avaliar esta eficiência é através da medição da resistência elétrica.

Desta forma, busca-se através deste estudo, a determinação da resistência elétrica de cabos flexíveis de PVC 450/750V nas seções de 1,5 milímetros quadrados (mm^2), 2,5 mm^2 , 4 mm^2 e 6 mm^2 de seis diferentes marcas a venda no mercado brasileiro. Para cada marca de cabo, utilizou-se os pseudônimos Marca A, Marca B, Marca C, Marca D, Marca E e Marca F. Através de medições, cálculos e comparações, buscou-se determinar qual a marca de cabo por seção tem menor perda elétrica, sendo mais eficiente na condução da corrente elétrica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS CONDUTORES ELÉTRICOS

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da Norma Brasileira (NBR) 05471: Condutores elétricos, de 1986, os condutores elétricos possuem diversas terminologias de acordo com a sua confecção, dentre as quais se destacam os fios, cabos, cordões e cordoalhas [1].

Os fios em sua maioria são compostos por metal cilíndrico, flexível e maciço e podem ser fabricados com ou sem isolamento. Eles ainda podem ser usados na produção de fios encordoados, que podem ser isolados entre si e também em seu conjunto, reunidos, formando os cabos [2].

Há ainda as cordoalhas, constituídas por um condutor muito flexível e em forma de tecido de fios metálicos, e os cordões, que são cabos também flexíveis, compostos de alguns condutores isolados torcidos ou em paralelo [2].

Quando providos de isolamento, a mesma possui a função de isolar eletricamente a parte metálica dos fios e cabos de outros condutores e do ambiente podendo ser constituída por isolantes termoplásticos como o polietileno (PE) e o policloreto de vinila (PVC), plásticos derivados de petróleo. Já os isolantes termofixos são o etileno propileno (EPR) e o polietileno reticulado (XLPE).

Na confecção de fios e cabos elétricos, a isolamento é projetada de acordo com a classe de tensão a que os mesmos serão utilizados. As principais características construtivas dos cabos associada com a tensão elétrica é a espessura da isolamento e a qualidade do isolante aplicado.

Para este estudo, optou-se por utilizar cabos isolados com PVC para tensões nominais até 450/750V, por serem largamente utilizados em instalações elétricas de baixa tensão.

2.2 CABOS ISOLADOS COM POLICLORETO DE VINILA (PVC) PARA TENSÕES NOMINAIS ATÉ 450/750V

Segundo a portaria de número 589, de 05 de novembro de 2012, do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO [3], os condutores elétricos denominados cabos isolados com policloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450/750V, devem apresentar características construtivas em acordo com a ABNT NBR NM 247-1: Cabos isolados com policloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450/750 V, inclusive – Parte 1: Requisitos Gerais, NBR NM 247-3: Cabos isolados com policloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450/750 V, inclusive – Parte 3: Condutores isolados (sem cobertura) para instalações fixas, e NBR NM 280: Condutores de cabos isolados [4][5][6]. Já os métodos de ensaio para a observância dos requisitos mínimos expostos pelas normas citadas acima, são estabelecidos pela ABNT NBR NM 247-2: Cabos isolados com policloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450/750 V, inclusive – Parte 2: Métodos de ensaios [7].

2.2.1 Características Construtivas dos Cabos de PVC, 450/750V quanto a Resistência Elétrica

Segundo a ABNT NBR NM 280 a resistência elétrica de cabos flexíveis, a 20 graus centígrados, não deve exceder valores máximos pré definidos, de acordo com a seção do cabo. Na Tabela 1 apresenta-se a resistência elétrica máxima por um quilometro que diversas seções de cabos devem atender.

Tabela 1 - Cabos Flexíveis - Resistência Elétrica Máxima por Quilômetro.

Seção Nominal (mm ²)	Resistência Elétrica Máxima a 20°C (ohm/km)
1,5	13,70
2,5	8,21
4,0	5,09
6,0	3,39

Fonte: Adaptado de NBR NM 280 [6]

2.3 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA

O INMETRO através da portaria 589, define a NBR NM 247-2 como a norma que orienta a realização de ensaio da resistência elétrica de condutores [3][7]. A mesma, define que para a verificação da resistência elétrica de condutores, deve-se medir a resistência de cada condutor em uma amostra de cabo de pelo menos 1 metro de comprimento, medindo-se também o comprimento da amostra. Se necessário, uma correção para a temperatura de 20°C e para um comprimento de 1 km deve-se seguir a Equação (2.1) [7].

$$R_{20} = R_t \times \frac{254,5}{234,5+t} \times \frac{1000}{L} \quad (2.1)$$

onde:

t é igual à temperatura da amostra no instante da medição, em graus Celsius (°C);

R_{20} é a resistência a 20°C, em ohms por quilometro (Ω/km);

R_t é a resistência de L metros de cabo a t°C, em ohms (Ω);

L é o comprimento da amostra de cabo, em metros (m).

2.4 MÉTODO DE ENSAIO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA

A ABNT NBR 6814: Fios e cabos elétricos – Ensaio de resistência elétrica, prescreve o método de medição da resistência elétrica do condutor em corrente contínua, para cabos elétricos. Ainda, apresenta a aparelhagem indicada e a forma de execução do ensaio [8].

2.4.1 Aparelhagem

De acordo com a ABNT NBR 6814, a resistência elétrica em corrente contínua pode ser medida por meio de uma ponte dupla, tipo Kelvin [8]. Tal técnica, permite a medição de resistências de valores relativamente baixos (inferiores a 1 Ω), sem ser

influenciada pela resistência dos fios e das conexões dos aparelhos utilizados para a medição da amostra em estudo [9].

A ponte dupla de Kelvin, consiste em acessar a amostra em estudo através de quatro terminais, dois de tensão e dois de corrente. Através dos terminais de corrente, injeta-se uma corrente na amostra a medir e pelos terminais de tensão, realiza-se a medição da tensão apresentada. Observa-se que é a posição dos terminais de tensão sobre a amostra que definem o valor da resistência. Nestas condições, a resistência a medir é dada pela Equação (2.2) [9].

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.2)$$

onde:

R é igual a resistência da amostra, em ohms (Ω);

V é a tensão medida pelos terminais de tensão, em volts (V);

I é a corrente injetada pelos terminais de corrente na amostra, em ampères (A).

A ABNT NBR 6814 indica também a utilização de termômetro com apreciação mínima de 0,2°C [8].

2.4.2 Execução do Ensaio

Segundo a ABNT NBR 6814, diversos critérios devem ser observados na execução do ensaio em cabos elétricos, dentre os quais destacam-se [8]:

- A medição da resistência pode ser efetuada à temperatura ambiente e posteriormente corrigida a temperatura especificada;
- A temperatura ambiente deve ser anotada no instante da medição;
- A distância entre cada contato de tensão e seu correspondente contato de corrente deve ser igual ou superior a 1,5 vezes o perímetro da seção transversal do condutor;

- Ao medir a resistência do condutor, a corrente aplicada através dos terminais de corrente deve ser baixa e de curta duração;
- Devem ser feitas duas leituras subsequentes, uma com a corrente de medição direta e outra inversa;

2.5 POTÊNCIA ELÉTRICA DISSIPADA NO CABO

A potência elétrica é a taxa de transferência de energia da rede elétrica para um dispositivo qualquer: motor, bateria, resistor, etc. Caso o dispositivo seja um motor, a potência elétrica é transferida em forma de trabalho realizado pelo mesmo. No caso de uma bateria, a energia é transferida sob forma de energia química. Para um resistor, a energia elétrica é transferida em energia térmica **[10]**.

Em cabos elétricos, a energia potencial elétrica é transformada em energia térmica e dissipada no ambiente, uma vez que observado como um dispositivo, pode-se adotar a analogia do resistor. Desta forma a taxa de dissipação de energia elétrica no resistor é dada pela Equação (2.3) **[10]**.

$$P = R \times I^2 \quad (2.3)$$

onde:

P é a potência elétrica dissipada, em watts (W);

R é igual a resistência do resistor, em ohms (Ω);

I é a corrente passante no resistor, em ampères (A).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho de condutores elétricos flexíveis no quesito resistência elétrica e perdas elétricas.

3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Mensurar por meio de uma ponte dupla, tipo Kelvin, a queda de tensão obtida através da aplicação de uma corrente em cada condutor flexível.

Calcular a resistência elétrica.

Verificar se a diferença do valor da resistência elétrica em condutores de diferentes marcas é significativo.

4 METODOLOGIA

4.1 A AMOSTRA

Para o estudo em questão, utilizou-se cabos isolados com PVC para tensões nominais até 450/750V, nas seções 1,5, 2,5, 4 e 6 mm². As marcas avaliadas foram: Marca A, Marca B, Marca C, Marca D, Marca E e Marca F, totalizando seis fabricantes diferentes.

4.2 O EXPERIMENTO E AS MEDIÇÕES

Para determinar a resistência elétrica das diversas seções de cabos e marcas, totalizando 24 amostras, utilizou-se o método de ensaio de acordo com a ABNT NBR 6814 [8]. Para tanto, montou-se uma bancada para o experimento e medições aparelhada com uma fonte de alimentação de corrente contínua marca Icel,

modelo PS6100, um multímetro marca Icel, modelo MD6510, número certificado de calibração 2266401/14 e outro multímetro marca Minipa, modelo ET2110, número certificado de calibração 2266301/14.

Para o experimento, empregou-se o método de medição através de uma ponte dupla, tipo Kelvin, a qual é mostrada na Figura 1.

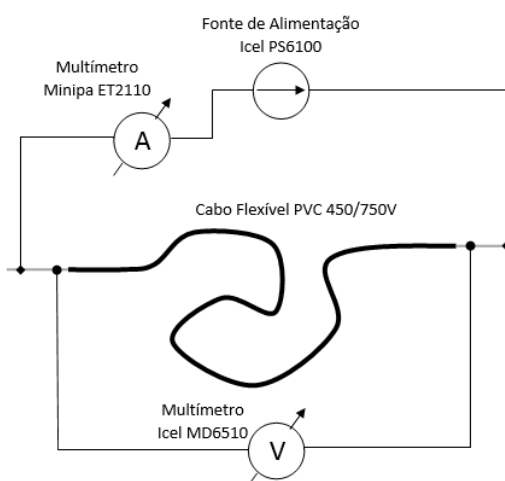


Figura 1 - Esquema Medição Através de Ponte Dupla de Kelvin.

Para cada amostra de cabo, de seção e marca diferente realizou-se seis conjuntos de medições, sendo três com corrente direta e três em corrente reversa, totalizando 288 medições, sendo 144 de corrente e 144 de tensão. A medida da temperatura e do comprimento da amostra no instante do experimento também se fez necessária. Na Tabela 2 são apresentadas as medições efetuadas em cada amostra de cabo.

Tabela 2 - Medições de Corrente, Tensão, Temperatura e Comprimento, por Seção e Marca dos Cabos Flexíveis.

Cabo Flexível de PVC 450/750V				CORRENTE DIRETA						CORRENTE INVERSA					
Fabricante	Condutor (mm ²)	Temp. Medição (°C)	Comprim. Amostra (m)	Medição 1		Medição 2		Medição 3		Medição 4		Medição 5		Medição 6	
				Corrente (A)	Tensão (V)	Corrente (A)	Tensão (V)	Corrente (A)	Tensão (V)	Corrente (A)	Tensão (V)	Corrente (A)	Tensão (V)	Corrente (A)	Tensão (V)
Marca A	1,5	23,20	100,00	0,98	1,26	0,98	1,26	0,98	1,26	1,09	1,40	1,09	1,40	1,09	1,40
Marca A	2,5	23,20	100,00	1,12	0,89	1,14	0,90	1,15	0,91	1,13	0,90	1,12	0,89	1,14	0,91
Marca A	4,0	24,00	100,00	1,04	0,51	1,04	0,51	1,04	0,51	1,07	0,52	1,07	0,52	1,07	0,52
Marca A	6,0	22,50	100,00	1,03	0,33	1,03	0,34	1,03	0,34	0,99	0,32	0,99	0,32	0,99	0,32
Marca B	1,5	22,20	2,00	1,06	0,03	1,07	0,03	1,07	0,03	1,04	0,03	1,04	0,03	1,04	0,03
Marca B	2,5	23,20	100,00	1,00	0,78	1,00	0,78	1,01	0,79	1,01	0,79	1,01	0,79	1,01	0,79
Marca B	4,0	22,20	2,00	1,18	0,01	1,18	0,01	1,18	0,01	1,19	0,01	1,19	0,01	1,19	0,01
Marca B	6,0	24,00	100,00	1,02	0,33	1,02	0,33	1,02	0,33	1,07	0,35	1,07	0,35	1,07	0,35
Marca C	1,5	23,20	100,00	0,97	1,26	0,97	1,26	0,97	1,26	0,97	1,26	0,97	1,26	0,97	1,26
Marca C	2,5	23,20	100,00	0,92	0,74	0,97	0,77	0,97	0,78	0,98	0,78	0,99	0,79	0,99	0,79
Marca C	4,0	24,00	100,00	0,99	0,49	0,99	0,49	0,99	0,49	0,95	0,47	0,95	0,47	0,95	0,47
Marca C	6,0	24,00	100,00	1,00	0,33	1,00	0,33	1,00	0,33	1,01	0,33	1,01	0,33	1,01	0,33
Marca D	1,5	23,20	100,00	1,11	1,45	1,11	1,45	1,11	1,45	1,10	1,43	1,10	1,43	1,10	1,43
Marca D	2,5	23,20	100,00	1,01	0,78	0,96	0,74	1,10	0,85	1,15	0,89	1,13	0,87	1,17	0,91
Marca D	4,0	24,00	100,00	0,99	0,49	1,00	0,49	0,99	0,49	1,07	0,52	1,07	0,52	1,07	0,52
Marca D	6,0	24,00	100,00	1,11	0,36	1,11	0,36	1,11	0,36	1,11	0,36	1,11	0,36	1,11	0,36
Marca E	1,5	23,20	100,00	0,93	1,42	0,93	1,42	0,93	1,42	0,93	1,42	0,93	1,42	0,93	1,42
Marca E	2,5	23,20	100,00	0,93	0,82	0,90	0,79	1,02	0,90	1,14	1,01	1,14	1,00	1,13	0,99
Marca E	4,0	24,00	100,00	1,03	0,54	1,03	0,54	1,03	0,54	1,07	0,56	1,07	0,56	1,07	0,56
Marca E	6,0	24,00	100,00	1,01	0,37	1,01	0,37	1,01	0,37	0,98	0,36	0,98	0,36	0,98	0,36
Marca F	1,5	23,20	100,00	1,15	1,44	1,15	1,44	1,15	1,44	1,15	1,44	1,15	1,44	1,15	1,44
Marca F	2,5	23,20	100,00	1,00	0,75	1,00	0,75	1,00	0,75	0,82	0,61	0,97	0,73	0,97	0,73
Marca F	4,0	24,00	100,00	1,02	0,48	1,02	0,48	1,02	0,48	1,02	0,48	1,02	0,48	1,02	0,48
Marca F	6,0	24,00	100,00	1,08	0,36	1,08	0,36	1,08	0,36	1,01	0,34	1,02	0,34	1,02	0,34

Conforme exposto no item 2.3, amostras acima de 1 metro de comprimento são aceitas. Desta forma, para os cabos da Marca B, nas seções 1,5 e 4,0 mm², utilizou-se amostras de 2 metros de comprimento pois não foi possível a compra de rolo de 100 metros devido a falta do mesmo no comércio local. Para as demais marcas e seções, amostras de 100 metros de comprimento foram utilizadas.

4.3 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA

A resistência elétrica é calculada aplicando a Equação (2.2) sobre os valores apresentados pela Tabela 2. Como resultado obteve-se as resistências elétricas para cada conjunto de medição e por fim chegou-se a um valor médio de resistência para cada amostra, conforme é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Cálculo da Resistência Elétrica dos Cabos.

Cabo Flexível de PVC 450/750V				CORRENTE DIRETA			CORRENTE INVERSA			Média das Resistências Calculadas (Ω)	Desvio Padrão das Resistências Calculadas
Fabricante	Condutor (mm^2)	Temp. Medição ($^{\circ}\text{C}$)	Comprim. Amostra (m)	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Medição 4	Medição 5	Medição 6		
Marca A	1,5	23,20	100,00	Resistência Calculada (Ω)	Resistência Calculada (Ω)	Resistência Calculada (Ω)	Resistência Calculada (Ω)	Resistência Calculada (Ω)	Resistência Calculada (Ω)	1,28	0,00073
Marca A	2,5	23,20	100,00	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	0,80	0,00037
Marca A	4,0	24,00	100,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,49	0,00006
Marca A	6,0	22,50	100,00	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,33	0,00015
Marca B	1,5	22,20	2,00	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00001
Marca B	2,5	23,20	100,00	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,00037
Marca B	4,0	22,20	2,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00001
Marca B	6,0	24,00	100,00	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,00024
Marca C	1,5	23,20	100,00	1,29	1,30	1,30	1,30	1,30	1,29	1,30	0,00049
Marca C	2,5	23,20	100,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,00061
Marca C	4,0	24,00	100,00	0,49	0,49	0,49	0,49	0,50	0,50	0,49	0,00019
Marca C	6,0	24,00	100,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,00027
Marca D	1,5	23,20	100,00	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	0,00049
Marca D	2,5	23,20	100,00	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,78	0,77	0,00117
Marca D	4,0	24,00	100,00	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,00021
Marca D	6,0	24,00	100,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,00015
Marca E	1,5	23,20	100,00	1,52	1,52	1,52	1,52	1,52	1,53	1,52	0,00057
Marca E	2,5	23,20	100,00	0,88	0,87	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,00249
Marca E	4,0	24,00	100,00	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,00093
Marca E	6,0	24,00	100,00	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,00009
Marca F	1,5	23,20	100,00	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	0,00043
Marca F	2,5	23,20	100,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,00015
Marca F	4,0	24,00	100,00	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,00019
Marca F	6,0	24,00	100,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,00018

4.4 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA CORRIGIDA

A correção da resistência elétrica faz-se necessário para trazer os resultados a uma mesma condição de temperatura e comprimento de condutor. Desta forma, através da aplicação da Equação (2.1) e considerando 20°C e 1 km a temperatura e comprimento padrões respectivamente, chega-se a Tabela 4.

Tabela 4 - Resistência Elétrica Corrigida para 20°C e 1 km.

Cabo Flexível de PVC 450/750V							
Fabricante	Condutor	Temperatura Medição	Comprimento Amostra	Temperatura Padrão	Comprimento Padrão	Média das Resistências Calculadas	Resistência Corrigida
Marca A	1,5 mm ²	23,20 °C	100,00 m	20,00 °C	1000,00 m	1,28 Ω	12,66 Ω
Marca A	2,5 mm ²	23,20 °C	100,00 m	20,00 °C	1000,00 m	0,80 Ω	7,86 Ω
Marca A	4,0 mm ²	24,00 °C	100,00 m	20,00 °C	1000,00 m	0,49 Ω	4,79 Ω
Marca A	6,0 mm ²	22,50 °C	100,00 m	20,00 °C	1000,00 m	0,33 Ω	3,23 Ω
Marca B	1,5 mm ²	22,20 °C	2,00 m	20,00 °C	1000,00 m	0,03 Ω	12,92 Ω
Marca B	2,5 mm ²	23,20 °C	100,00 m	20,00 °C	1000,00 m	0,78 Ω	7,74 Ω
Marca B	4,0 mm ²	22,20 °C	2,00 m	20,00 °C	1000,00 m	0,01 Ω	4,87 Ω
Marca B	6,0 mm ²	24,00 °C	100,00 m	20,00 °C	1000,00 m	0,32 Ω	3,18 Ω
Marca C	1,5 mm ²	23,20 °C	100,00 m	20,00 °C	1000,00 m	1,30 Ω	12,79 Ω
Marca C	2,5 mm ²	23,20 °C	100,00 m	20,00 °C	1000,00 m	0,80 Ω	7,88 Ω
Marca C	4,0 mm ²	24,00 °C	100,00 m	20,00 °C	1000,00 m	0,49 Ω	4,87 Ω
Marca C	6,0 mm ²	24,00 °C	100,00 m	20,00 °C	1000,00 m	0,33 Ω	3,25 Ω
Marca D	1,5 mm ²	23,20 °C	100,00 m	20,00 °C	1000,00 m	1,30 Ω	12,86 Ω
Marca D	2,5 mm ²	23,20 °C	100,00 m	20,00 °C	1000,00 m	0,77 Ω	7,64 Ω
Marca D	4,0 mm ²	24,00 °C	100,00 m	20,00 °C	1000,00 m	0,49 Ω	4,81 Ω
Marca D	6,0 mm ²	24,00 °C	100,00 m	20,00 °C	1000,00 m	0,33 Ω	3,22 Ω
Marca E	1,5 mm ²	23,20 °C	100,00 m	20,00 °C	1000,00 m	1,52 Ω	15,05 Ω
Marca E	2,5 mm ²	23,20 °C	100,00 m	20,00 °C	1000,00 m	0,88 Ω	8,68 Ω
Marca E	4,0 mm ²	24,00 °C	100,00 m	20,00 °C	1000,00 m	0,53 Ω	5,19 Ω
Marca E	6,0 mm ²	24,00 °C	100,00 m	20,00 °C	1000,00 m	0,37 Ω	3,63 Ω
Marca F	1,5 mm ²	23,20 °C	100,00 m	20,00 °C	1000,00 m	1,26 Ω	12,41 Ω
Marca F	2,5 mm ²	23,20 °C	100,00 m	20,00 °C	1000,00 m	0,75 Ω	7,37 Ω
Marca F	4,0 mm ²	24,00 °C	100,00 m	20,00 °C	1000,00 m	0,47 Ω	4,63 Ω
Marca F	6,0 mm ²	24,00 °C	100,00 m	20,00 °C	1000,00 m	0,33 Ω	3,28 Ω

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 VERIFICAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS ELÉTRICAS DOS CABOS ELÉTRICOS E O ATENDIMENTO A NORMA NBR NM 280

A resistência elétrica dos cabos flexíveis de PVC 450/750V, deve atender ao especificado pela norma NBR NM 280, conforme apresentado na Tabela 1 deste estudo. Desta forma, interpondo a resistência elétrica corrigida apresentada na Tabela 4 e a resistência elétrica definida por norma apresentada na Tabela 1, chega-se a Figura 2.

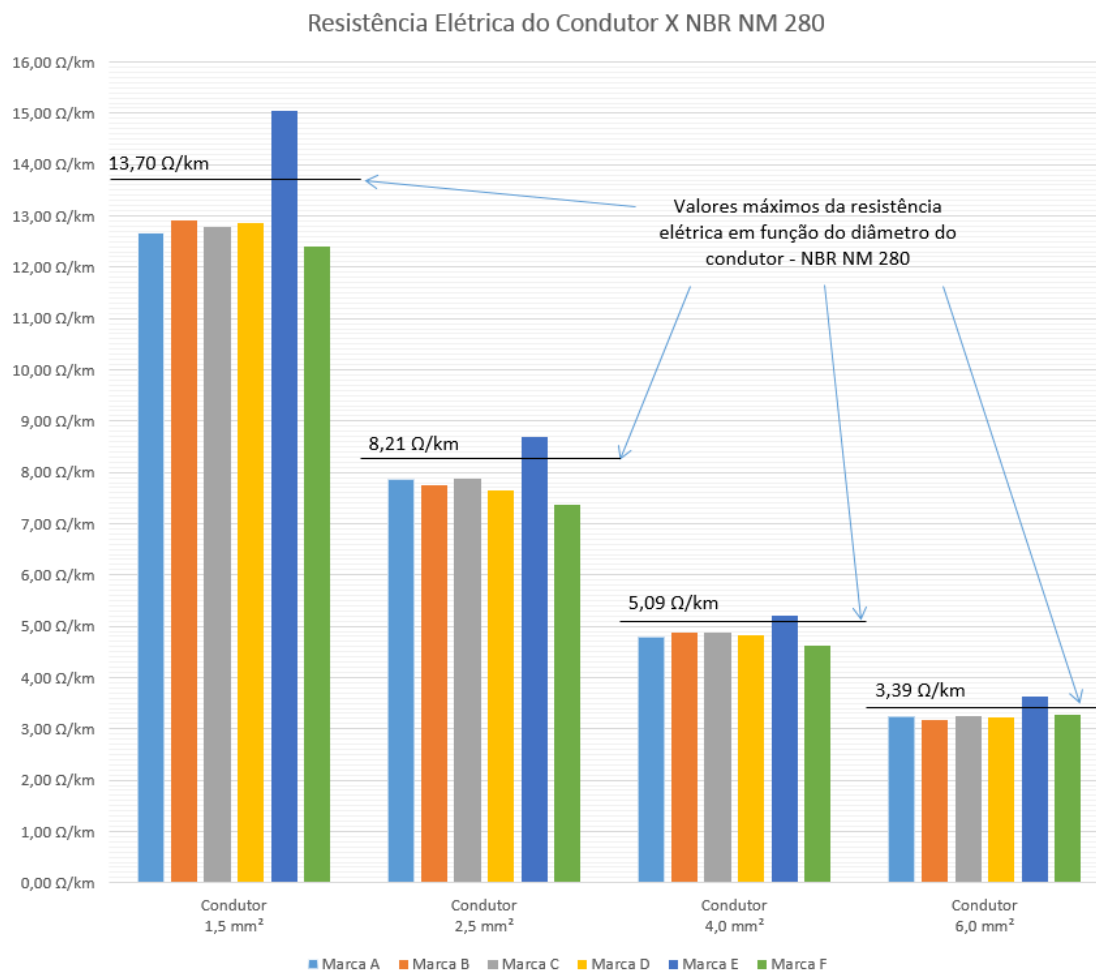


Figura 2 - Resistência Elétrica do Cabo Versus NBR NM 280.

Pela análise da Figura 2, pode-se afirmar que os cabos flexíveis de PVC para tensão de 450/750V de seções 1,5, 2,5, 4 e 6 mm² da Marca E não atenderam os limites de resistência elétrica estabelecidos por norma. As demais marcas, nas suas diversas seções apresentaram resistência elétrica em conformidade com a NBR NM 280. Ainda, para as seções de 1,5 mm² e 2,5 mm², observa-se uma maior variação da resistência elétrica entre as marcas, enquanto que para as seções de 4 mm² e 6 mm² ressalta-se uma maior homogeneidade entre os valores.

5.2 COMPARAÇÃO ENTRE AS MARCAS DE CABOS

Realizando uma comparação entre as seis marcas, para cada seção de cabo, a fim de elaborar uma relação que deixa-se claro o quão maior ou menor é a resistência elétrica entre cada marca, chegou-se a Tabela 5.

Tabela 5 - Relação Entre as Marcas de Cabos.

1,5 mm ²	2,5 mm ²	4 mm ²	6 mm ²
Marca A = 97,99% x Marca B	Marca A = 101,58% x Marca B	Marca A = 98,53% x Marca B	Marca A = 101,52% x Marca B
Marca A = 98,97% x Marca C	Marca A = 99,80% x Marca C	Marca A = 98,39% x Marca C	Marca A = 99,54% x Marca C
Marca A = 98,46% x Marca D	Marca A = 102,85% x Marca D	Marca A = 99,58% x Marca D	Marca A = 100,44% x Marca D
Marca A = 84,09% x Marca E	Marca A = 90,55% x Marca E	Marca A = 92,28% x Marca E	Marca A = 88,88% x Marca E
Marca A = 102,00% x Marca F	Marca A = 106,67% x Marca F	Marca A = 103,59% x Marca F	Marca A = 98,51% x Marca F
Marca B = 102,05% x Marca A	Marca B = 98,45% x Marca A	Marca B = 101,49% x Marca A	Marca B = 98,50% x Marca A
Marca B = 101,00% x Marca C	Marca B = 98,25% x Marca C	Marca B = 99,86% x Marca C	Marca B = 98,05% x Marca C
Marca B = 100,48% x Marca D	Marca B = 101,25% x Marca D	Marca B = 101,07% x Marca D	Marca B = 98,93% x Marca D
Marca B = 85,82% x Marca E	Marca B = 89,14% x Marca E	Marca B = 93,66% x Marca E	Marca B = 87,55% x Marca E
Marca B = 104,09% x Marca F	Marca B = 105,01% x Marca F	Marca B = 105,14% x Marca F	Marca B = 97,03% x Marca F
Marca C = 101,04% x Marca A	Marca C = 100,20% x Marca A	Marca C = 101,64% x Marca A	Marca C = 100,46% x Marca A
Marca C = 99,01% x Marca B	Marca C = 101,78% x Marca B	Marca C = 100,14% x Marca B	Marca C = 101,99% x Marca B
Marca C = 99,49% x Marca D	Marca C = 103,05% x Marca D	Marca C = 101,21% x Marca D	Marca C = 100,90% x Marca D
Marca C = 84,97% x Marca E	Marca C = 90,72% x Marca E	Marca C = 93,79% x Marca E	Marca C = 89,29% x Marca E
Marca C = 103,06% x Marca F	Marca C = 106,88% x Marca F	Marca C = 105,28% x Marca F	Marca C = 98,96% x Marca F
Marca D = 101,56% x Marca A	Marca D = 97,23% x Marca A	Marca D = 100,42% x Marca A	Marca D = 99,56% x Marca A
Marca D = 99,52% x Marca B	Marca D = 98,76% x Marca B	Marca D = 98,94% x Marca B	Marca D = 101,08% x Marca B
Marca D = 100,51% x Marca C	Marca D = 97,04% x Marca C	Marca D = 98,80% x Marca C	Marca D = 99,11% x Marca C
Marca D = 85,41% x Marca E	Marca D = 88,04% x Marca E	Marca D = 92,67% x Marca E	Marca D = 88,49% x Marca E
Marca D = 103,59% x Marca F	Marca D = 103,71% x Marca F	Marca D = 104,02% x Marca F	Marca D = 98,08% x Marca F
Marca E = 118,92% x Marca A	Marca E = 110,44% x Marca A	Marca E = 108,36% x Marca A	Marca E = 112,51% x Marca A
Marca E = 116,52% x Marca B	Marca E = 112,18% x Marca B	Marca E = 106,77% x Marca B	Marca E = 114,22% x Marca B
Marca E = 117,69% x Marca C	Marca E = 110,23% x Marca C	Marca E = 106,62% x Marca C	Marca E = 111,99% x Marca C
Marca E = 117,09% x Marca D	Marca E = 113,59% x Marca D	Marca E = 107,91% x Marca D	Marca E = 113,00% x Marca D
Marca E = 121,29% x Marca F	Marca E = 117,80% x Marca F	Marca E = 112,25% x Marca F	Marca E = 110,83% x Marca F
Marca F = 98,04% x Marca A	Marca F = 93,75% x Marca A	Marca F = 96,54% x Marca A	Marca F = 101,52% x Marca A
Marca F = 96,07% x Marca B	Marca F = 95,23% x Marca B	Marca F = 95,11% x Marca B	Marca F = 103,06% x Marca B
Marca F = 97,03% x Marca C	Marca F = 93,57% x Marca C	Marca F = 94,98% x Marca C	Marca F = 101,05% x Marca C
Marca F = 96,54% x Marca D	Marca F = 96,42% x Marca D	Marca F = 96,13% x Marca D	Marca F = 101,96% x Marca D
Marca F = 82,45% x Marca E	Marca F = 84,89% x Marca E	Marca F = 89,08% x Marca E	Marca F = 90,23% x Marca E

Pelo diagnóstico da Tabela 5, pode-se observar de forma clara, através de equações, a relação da resistência elétrica na comparação entre as marcas. Cada uma das quatro colunas, corresponde a seção do cabo em comparação. Em cada uma das linhas da tabela, é apresentada uma equação onde a relação entre a resistência dos cabos é apresentada em porcentagem. Como exemplo:

- Para o cabo de seção 1,5 mm², tem-se que a resistência elétrica do cabo da Marca A corresponde a 102% da do cabo da Marca F ou a resistência elétrica do cabo Marca A é 2% maior que a do cabo Marca F.

- Para o cabo de seção 2,5 mm², tem-se que a resistência elétrica do cabo Marca F corresponde a 84,89% da do cabo da Marca E ou a resistência elétrica do cabo Marca F é 15,11% menor que a do cabo Marca E.

5.3 RELAÇÃO DA MARCA DO CABO COM AS PERDAS ELÉTRICAS

Atendo ao exposto no item 2.5 Potência Elétrica Dissipada no Cabo, mais especificamente a Equação (2.3), observa-se que a resistência elétrica é diretamente proporcional a potência elétrica dissipada. Ainda, pode-se afirmar que a potência elétrica dissipada em forma de aquecimento do cabo, pode ser definida como potência elétrica perdida, uma vez que este processo é irreversível. Desta forma, pode-se admitir que a relação entre as marcas de cabo apresentada na Tabela 5 se repete na análise da potência elétrica dissipada por cada cabo. Como exemplo:

- Para o cabo de seção 1,5 mm², tem-se que a potência elétrica dissipada na utilização do cabo Marca A corresponde a 102% da do cabo da Marca F ou a potência elétrica dissipada pelo cabo Marca A é 2% maior que a do cabo Marca F.
- Para o cabo de seção 2,5 mm², tem-se que a potência elétrica dissipada na utilização do cabo Marca F corresponde a 84,89% da do cabo da Marca E ou a potência elétrica dissipada pelo cabo Marca F é 15,11% menor que a do cabo Marca E.

Desconsiderando o cabo da Marca E, pela amostra não enquadrar-se nos critérios estabelecidos pela norma NBR NM 280, como visto no item 5, obteve-se uma relação de menor amplitude entre as marcas avaliadas. Para os cabos de seção 1,5 mm² a maior diferença encontrada foi de 4,90%. Já para os cabos de 2,5, 4 e 6 mm², a maior diferença foi de 6,88%, 5,28% e 3,06% respectivamente.

5.4 ESTIMATIVA DA PROPAGAÇÃO DE ERROS

Usando o multímetro Icel para medir a tensão na escala de 4VDC a incerteza era $\pm 0,0002$ V e que fornecia uma incerteza na temperatura medida de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Para a medida da corrente no multímetro Minipa na escala 4ADC a incerteza era de $\pm 0,0010$ A.

Já para o comprimento dos rolos de fios de cobre de 100 m foi estimada uma incerteza no comprimento de 0,1 m.

Usando a Equação (2.1), com a incerteza da temperatura de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e incerteza de comprimento de $\pm 0,1$ m e usando as seis incertezas resultantes dos ensaios para o cálculo da resistência na Equação (2.2), obteve-se os dados da Tabela 6. Estes valores são apenas estimativa, sendo aconselhável repetir as medidas com os comprimentos adequadamente medidos.

Tabela 6: Estimativa das Incertezas da Resistência dos Fios de Cobre.

Fabricante	Condutor (mm ²)	Resistência Corrigida (Ω/km)	Incerteza (Ω/km)
Marca A	1,5	12,66	0,12
Marca A	2,5	7,86	0,07
Marca A	4,0	4,79	0,04
Marca A	6,0	3,23	0,03
Marca B	1,5	12,92	0,12
Marca B	2,5	7,74	0,07
Marca B	4,0	4,87	0,04
Marca B	6,0	3,18	0,03
Marca C	1,5	12,79	0,12
Marca C	2,5	7,88	0,07
Marca C	4,0	4,87	0,04
Marca C	6,0	3,25	0,03
Marca D	1,5	12,86	0,12
Marca D	2,5	7,64	0,07
Marca D	4,0	4,81	0,04
Marca D	6,0	3,22	0,03
Marca E	1,5	15,05	0,14
Marca E	2,5	8,68	0,08
Marca E	4,0	5,19	0,04
Marca E	6,0	3,63	0,03
Marca F	1,5	12,41	0,11
Marca F	2,5	7,37	0,07
Marca F	4,0	4,63	0,04
Marca F	6,0	3,28	0,03

As incertezas calculadas não ocasionaram mudança na zona de aceitação/rejeição, visualizada na Figura 2.

6 CONCLUSÕES

O estudo comparou seis marcas de cabos isolados com PVC para tensões nominais até 450/750V quanto aos quesitos da resistência elétrica e perdas elétricas, apresentando diferenças significativas nos resultados.

A marca E superou o limite de resistência recomendado pela norma ABNT NBR 6814 para todas as faixas de 1,5 mm², 2,5 mm², 4,0 mm² e 6,0 mm². Como a resistência da marca E é superior haverá mais perdas devido ao efeito Joule.

Assim para as amostras dos cabos de 1,5 mm², 2,5 mm² e 4,0 mm², a Marca E obteve 21,29%, 17,80% e 12,25% mais perdas elétricas que as amostras de cabos da Marca F, respectivamente. Já o cabo de 6,0 mm² da Marca E alcançou 14,22% mais perdas elétricas que a amostra da Marca B. Estes percentuais de 21,29%, 17,80%, 12,25% e 14,22% evidenciam uma relevante diferença em termos de resistência elétrica e conseqüentemente perdas elétricas. Desta forma, conclui-se que a verificação da resistência elétrica dos cabos é importante para um projeto visando eficiência energética, a fim de atuar na diminuição das perdas elétricas.

O valor estimado das incertezas das resistências não ocasionou zonas de aceitação parcial ou rejeição dos cabos conforme valores da norma.

7 REFERÊNCIAS

- [1]. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5471: Condutores elétricos, Rio de Janeiro, 1986. 10 p.
- [2]. GOEKING, W. Fios e cabos: condutores da evolução humana. **O Setor Elétrico**, São Paulo, n. 47, p. 50-57, Dezembro 2009. Disponível em: <<http://www.osetoelettrico.com.br/web/a-revista/edicoes/223-fios-e-cabos-condutores-da-evolucao-humana.html>>. Acesso em: 26 Outubro 2014.
- [3]. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. Portaria n.º 589, de 05 de novembro de 2012. **INMETRO**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001925.pdf>>. Acesso em: 26 Outubro 2014.
- [4]. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR NM 247-1: Cabos isolados compolicloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450/750 V, inclusive - Parte 1: Requisitos gerais, Rio de Janeiro, Março 2002. 25 p.
- [5]. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR NM 247-3: Cabos isolados compolicloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450/750 V, inclusive - Parte 3: Condutores isolados (sem cobertura) para instalações fixas, Rio de Janeiro, Fevereiro 2002. 24 p.
- [6]. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR NM 280: Condutores de cabos isolados, Rio de Janeiro, 17 Março 2011. 24 p.
- [7]. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR NM 247-2: Cabos isolados compolicloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450/750 V, inclusive - Parte 2: Métodos de ensaios, Rio de Janeiro, Março 2002. 17 p.

- [8]. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6814: Fios e cabos elétricos - Ensaio de resistência elétrica, Rio de Janeiro, Março 1986. 3 p.
- [9]. CAMPILHO, A. **Instrumentação electrónica**: métodos e técnicas de medição. 1ª. ed. Porto: FEUP, 2000. 481 p. ISBN 9727520421, 9789727520428.
- [10]. HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física 3**: Eletro-magnetismo. 4ª. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora, 1996. 350 p. ISBN ISBN 85-216-1071-8.