

Análise de emendas em cabos condutores para instalações elétricas de baixa tensão¹

Analysis of splices in conductor cables for low voltage electrical installations

José Rafael Lauer²

Armando Leopoldo Keller³

Eduardo Augusto Martins⁴

Débora de Machado Dubina⁵

Resumo

As conexões são parte fundamental das instalações elétricas de baixa tensão, sendo a emenda, a técnica de ligação entre os condutores mais utilizada. No entanto, as emendas não possuem normativas nacionais de padronização e parâmetros mínimos de qualidade, ou seja, não existem garantias da sua correta aplicação, eficiência e segurança. Nesse contexto, o estudo desenvolvido neste trabalho apresenta uma pesquisa sobre os tipos de emenda, a aplicação de questionário sobre as conexões utilizadas por profissionais do setor elétrico de baixa tensão e a realização de testes em laboratório, para obter a resistência elétrica, queda de tensão, temperatura de operação e resistência à tração mecânica dos três tipos de emenda mais comuns. Por meio de uma análise estatística dos dados obtidos, foi feita uma comparação qualitativa do desempenho das emendas estudadas, concluindo que as emendas em derivação e em prolongamento atendem as condições elétricas e mecânicas estabelecidas em todos os critérios, enquanto a emenda de caixa não possui adequada suportabilidade mecânica.

Palavras-chave: emendas; ensaios; segurança.

Abstract

Connections are a fundamental part of low voltage electrical installations, and splicing is the most used connection technique between conductors. However, the amendments do not have national standardization regulations and minimum quality parameters, which means there are no guarantees of their correct application, efficiency and safety. In this context, the study developed in this work presents a survey on the types of splicing, the application of a questionnaire on the connections used by professionals in the low voltage electrical sector and the performance of laboratory tests to obtain the electrical resistance, voltage drop, operating temperature and mechanical tensile strength of the three most common splicing types. Through a statistical analysis of the data obtained, a qualitative comparison of the performance of the splices studied was made, concluding that the shunt and extension splices meet the electrical and mechanical conditions established in all criteria, while the box splice does not have adequate mechanical supportability.

Keywords: splicing; tests; safety.

1 Este artigo trata-se de resumo de trabalho de conclusão do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, RS, Brasil, apresentado em 23/06/2023, sob orientação do Prof. Me. Armando Leopoldo Keller.

2 Mestrando e graduado em Engenharia Elétrica pela UNISINOS. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8280-5132>. E-mail: jlauer@edu.unisinos.br

3 Doutorando em Computação Aplicada, mestre e graduado em Engenharia Elétrica, com ênfase em Controle e Automação pela UNISINOS. Professor na UNISINOS. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6942-1554>. E-mail: alkeller@unisinos.br

4 Mestre em Computação Aplicada e graduado em Engenharia Elétrica pela UNISINOS. Coordenador técnico no Instituto Tecnológico de Ensaios em Segurança Funcional e professor assistente na UNISINOS. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5786-7463>. E-mail: eamartins@unisinos.br

5 Acadêmica em Arquitetura e Urbanismo pela UNISINOS. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4053-1859>. E-mail: deboradubina@unisinos.br

Artigo recebido em 18.09.2023 e aceito em 23.11.2023.



1 Introdução

As conexões estão presentes em todos os tipos de instalações elétricas, seja por meio da ligação dos condutores entre si ou nos terminais da fiação com os equipamentos. No âmbito das instalações elétricas de baixa tensão, as emendas, como forma mais simples de conexão, podem causar problemas de ordem elétrica e mecânica, uma vez que na emenda entre condutores ocorre uma perda estimada de 20% da capacidade de condução de corrente elétrica e de 20% na força de tração do fio (Cavalin; Cervelin, 2010).

As interligações de condutores entre si e com outros componentes precisam garantir continuidade elétrica durável e adequada suportabilidade mecânica, de modo que, para a seleção dos meios de conexão, deve ser considerado o material dos condutores, a sua isolação, a quantidade de condutores a serem conectados, sua seção e formato (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004).

No entanto, embora a NBR 5410 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004) cite as características que devem ser observadas nas conexões elétricas, ela não institui requisitos obrigatórios, tais como: a resistência elétrica máxima e a resistência mecânica mínima das emendas a tração, bem como não demonstra os tipos de emendas padronizados ou ensaios que devam ser aplicadas nelas, para garantir condições de desempenho e de segurança. Nesse contexto, a relação entre as emendas e os acidentes com fogo, oriundos de instalações elétricas, pode ser observada, segundo os repórteres Andrade e Kipper (2022), no Hospital São Bendito em Cuiabá/MT, no qual ocorreu um incêndio em um aparelho de ar-condicionado, e a perícia encontrou diversas emendas na fiação de alimentação do equipamento, concluindo em seu laudo que elas aumentam as chances de superaquecimento da rede elétrica.

Cavalin e Cervelin (2010) denominam as principais formas de emenda como: conexão de condutores entre si, em prolongamento e em derivação. A emenda em prolongamento é utilizada para unir dois condutores em linha aberta, por exemplo, para alcançar o comprimento necessário, para ligar a alimentação de uma carga distante do quadro principal. Outra aplicação dessa técnica é no interior de caixas de passagem, de modo a unir dois ou mais condutores, sendo então denominada como emenda de caixa e possuindo método de construção diferenciado. A conexão em derivação, por sua vez, é utilizada com o propósito de interligar a extremidade de um conector (ramal) a uma rede principal de alimentação, como

várias luminárias acionadas pelo mesmo retorno de interruptor.

Todavia, indiferente do tipo de emenda empregada, devem ser observadas as seguintes condições: as junções dos condutores entre si e com as terminações de equipamentos não podem ser submetidas a esforços de tração ou de torção; as emendas devem ser realizadas de forma que o contato elétrico não dependa da sua isolação, isto é, o material isolante não deve servir como aperto a conexão; a temperatura atingida nas emendas em condições normais de operação não pode afetar a sua isolação e; elas devem suportar os esforços impostos pelas correntes em condições normais e em condições de sobrecarga ou curto-circuito (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004).

Nesse contexto, este artigo apresenta um estudo teórico e prático com o objetivo de mapeamento, comparação e classificação dos tipos de emendas utilizadas na conexão de dois condutores entre si, em instalações elétricas de baixa tensão, a fim de responder o problema de pesquisa: são as emendas realmente técnicas de conexão entre condutores seguras e eficientes?

2 Desenvolvimento

Para o desenvolvimento do trabalho, foi realizado um questionário com profissionais do setor elétrico predial, realizadas vistorias em obras concluídas e em andamento e idealizados três ensaios para avaliar o comportamento das emendas. O primeiro teste, em corrente contínua, objetivou medir a resistência elétrica da emenda, semelhante à forma como se mediria a resistência de um resistor, de modo que parâmetros como: o aquecimento devido à condução de corrente elétrica não influenciasse no valor medido. O segundo teste visou observar o comportamento da emenda em um circuito predial simulado, com ênfase na queda de tensão, na temperatura de operação e na capacidade de condução de corrente elétrica da amostra. O último teste, objetivou conhecer a resistência mecânica das emendas à tração. Todas as etapas encontram-se descritas de forma mais detalhada nos itens a seguir.

2.1 Questionário

A primeira etapa do trabalho se deu com elaboração e divulgação de um questionário *online*, com profissionais atuantes no setor das instalações elétricas prediais e a realização de vistorias em obras em andamento e concluídas, para determinar as principais formas de emenda empregadas na prática.

O questionário foi desenvolvido na plataforma *Google Forms*, com o objetivo de conhecer tanto o perfil do profissional que respondeu às questões, isto é, nível de formação, experiência, região de atuação e tipos de emendas que fazem parte de seu acervo. As opções disponíveis, para resposta da pergunta sobre as emendas utilizadas, foram as mesmas previstas no livro de Cavalin e Cervelin (2010), acrescidas de uma opção denominada como “outra”, caso o profissional utilize alguma técnica diferenciada.

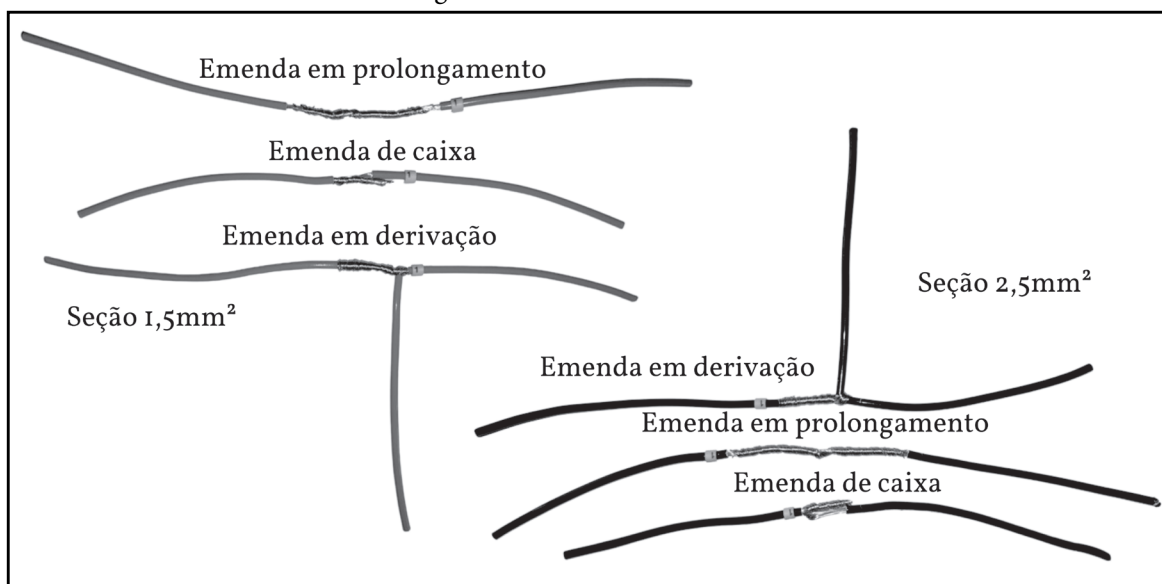
2.2 Definição e preparação das emendas

A NBR 5410:2004 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004) define na tabela 47 – seção mínima dos condutores, que em circuitos de iluminação não devem ser utilizados cabos de cobre com seção nominal inferior a $1,5 \text{ mm}^2$ e em circuitos de força, ou seja, tomadas de uso geral, condutores com seção nominal inferior a $2,5 \text{ mm}^2$. Devido ao fato desses dois tipos de circuito serem os mais propensos à necessidade de emendas, os testes aplicados foram limitados a essas duas seções nominais. Além disso, devido à tendência nacional nas instalações elétricas prediais novas ou em reformas de utilizar apenas condutores flexíveis, com classe de encordoamento 4

ou 5, os testes se limitaram ao uso desse tipo de cabo. Além disso, os cabos utilizados atendem à ABNT NBR NM 247-3: cabos isolados com policloreto de vinila (PVC), para tensões nominais até $450 \text{ V} / 750 \text{ V}$ (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2002), com temperatura de $70 \text{ }^\circ\text{C}$, em regime permanente, tratando-se do tipo de condutor indicado para instalações elétricas prediais de baixa tensão. Além disso, uma prática descrita por Cavalin e Cervelin (2010) é a soldagem de emendas com liga de estanho e chumbo, entretanto, como a NBR 5410:2004 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004) proíbe a utilização de soldas nos terminais de condutores e em sua conexão com bornes ou outros dispositivos elétricos, além de recomendar a não utilização de soldas nas conexões de circuitos, essa técnica não foi abordada neste trabalho.

Portanto, foram construídas e identificadas com anilhas plásticas amarelas, com dígitos de 0 a 9, dez amostras de cada tipo de emenda previstas por Cavalin e Cervelin (2010), seguindo rigorosamente a metodologia de construção prevista pelos autores citados em seu livro: emenda em prolongamento, de caixa e em derivação para as seções de $1,5 \text{ mm}^2$ e $2,5 \text{ mm}^2$, totalizando 60 emendas. Uma amostra de cada tipo para cada seção, pode ser observada na figura 1.

Figura 1 – Emendas elaboradas



Fonte: Os autores (2023).

A próxima etapa consistiu em submeter as emendas elaboradas a três diferentes testes práticos, a fim de obter a resistência elétrica, mecânica e condições de operação das emendas.

2.3 Teste de resistência elétrica em corrente contínua

Esse teste visou estimar a resistência elétrica total que existe em uma emenda. A resistência elétrica está

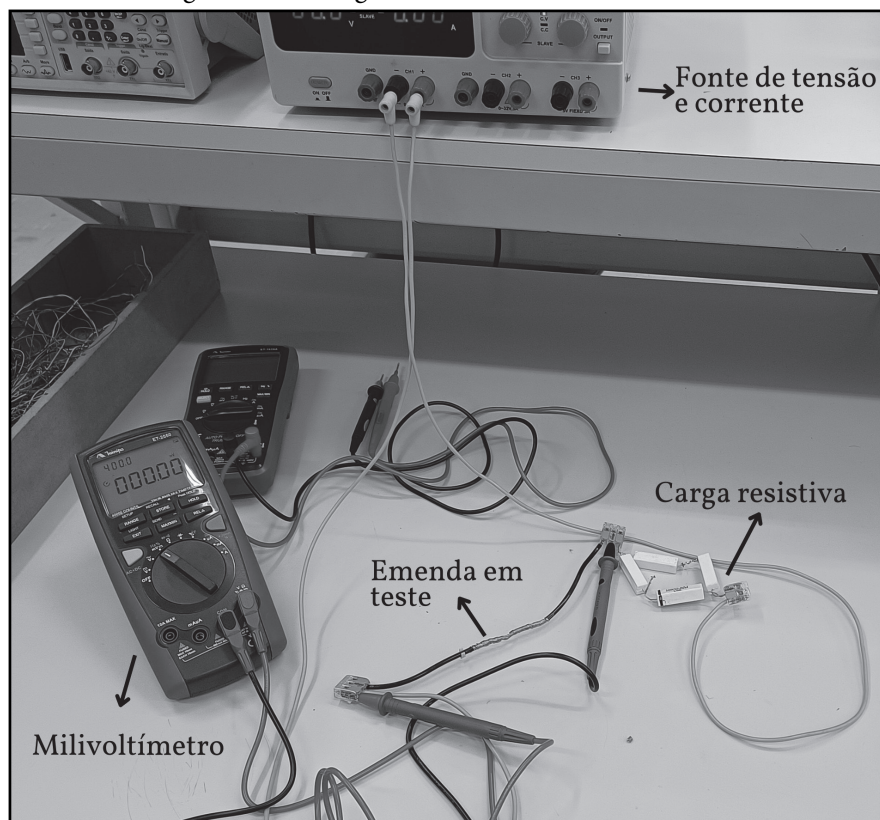
diretamente relacionada com a energia desperdiçada em uma conexão, em função de aquecimento (efeito Joule) e é a responsável pelo aparecimento da queda de tensão. Portanto, é um dos parâmetros mais importantes a ser determinado e que de fato, indica se a conexão é eletricamente boa ou ruim.

O ensaio foi realizado em corrente contínua, com uma fonte de tensão de 5 V e um resistor de potência de 10 W, cuja função principal é limitar a corrente elétrica a um valor próximo a 2 A sobre a emenda. Com um voltímetro, foi medida a tensão sobre a emenda, enquanto a corrente foi monitorada com um amperímetro de corrente contínua. O valor da corrente aplicada foi definido de modo a se utilizar uma corrente de valor muito abaixo da nominal dos cabos, a qual não provocaria aumento de temperatura no condutor que, por sua vez, poderia prejudicar o valor de resistência obtido e não abaixo de modo que a tensão lida fosse muito

pequena, acarretando problemas de leitura e precisão de medida.

Para a montagem do circuito de teste, foi utilizada uma fonte de alimentação Minipa digital modelo MPL-3305M, com a saída de tensão contínua fixa em 5 V, quatro resistores, com resistência nominal de 2,2 Ω cada e potência máxima de 10 W, ligados dois em série e dois em paralelo, de modo que a resistência total do conjunto fosse próxima de 2,2 Ω . Um voltímetro para medir a queda de tensão foi colocado sobre a emenda que, por sua vez, foi ligada à fonte e à carga, através de cabos com uma extremidade de “pino banana” e a outra, com cabo desencapado. Um conector da marca Wago, com capacidade de interligação de três fios, foi utilizado para a conexão dos três elementos, ou seja, a extremidade da emenda, com os cabos de alimentação, a carga e o voltímetro. Na figura 2, é possível observar o circuito montado em bancada para o teste.

Figura 2 – Montagem do teste de resistência elétrica



Fonte: Os autores (2023).

Foram realizadas medidas de valores instantâneos de corrente, através do visor da fonte de alimentação, circuito em série e de tensão sobre os terminais da emenda, com a utilização do multímetro Minipa

ET-2550, para as dez emendas em prolongamento, em derivação e de caixa elaboradas para as seções de 1,5 mm² e 2,5 mm², portanto totalizando 60 medições que foram registradas na tabela 1.

Tabela 1 – Emendas

	Seção 1,5 mm ²			Seção 2,5 mm ²	
	Amostra	Corrente (A)	Tensão (mV)	Corrente (A)	Tensão (mV)
Emenda de caixa	0	2,22	15,92	2,21	7,51
	1	2,21	14,50	2,24	8,34
	2	2,20	16,78	2,22	8,21
	3	2,22	13,26	2,24	6,52
	4	2,22	11,92	2,21	8,28
	5	2,23	11,18	2,21	7,13
	6	2,22	17,67	2,24	7,85
	7	2,23	13,23	2,21	6,53
	8	2,23	13,01	2,20	7,18
	9	2,23	13,04	2,22	9,65
Emenda em derivação	0	2,23	14,70	2,22	7,08
	1	2,23	11,81	2,23	5,50
	2	2,23	16,54	2,22	5,87
	3	2,23	13,06	2,22	5,81
	4	2,23	12,45	2,22	6,11
	5	2,22	12,47	2,22	7,92
	6	2,23	11,34	2,23	7,94
	7	2,23	13,75	2,23	7,11
	8	2,23	11,72	2,22	6,52
	9	2,23	11,68	2,22	7,85
Emenda em prolongamento	0	2,22	15,74	2,22	7,27
	1	2,22	15,12	2,25	7,29
	2	2,23	13,46	2,23	7,03
	3	2,24	12,54	2,25	6,51
	4	2,22	13,87	2,25	6,84
	5	2,23	14,13	2,22	6,68
	6	2,24	11,13	2,23	6,54
	7	2,23	10,52	2,23	7,09
	8	2,23	12,91	2,25	7,66
	9	2,24	13,36	2,25	7,00

Fonte: Os autores (2023).

De posse dos valores tabelados, foi utilizada a Lei de Ohm para calcular a resistência elétrica em corrente contínua de cada uma das emendas analisadas.

2.4 Teste de operação em corrente alternada em condições nominais

Esse teste objetivou simular as condições nominais de operação de um circuito elétrico predial. A capacidade de condução de corrente elétrica dos condutores é definida pela NBR 5410:2004 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004), sendo que, para fios de cobre com seção nominal de 1,5 mm² e 2,5

mm², considerando dois condutores carregados (circuito monofásico) e método de instalação B1, conforme tabela 33 – tipos de linhas elétricas, “Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular, embutido em alvenaria”, é de 17,5 A, para os cabos de 1,5 mm² e de 24 A, para os cabos de 2,5 mm².

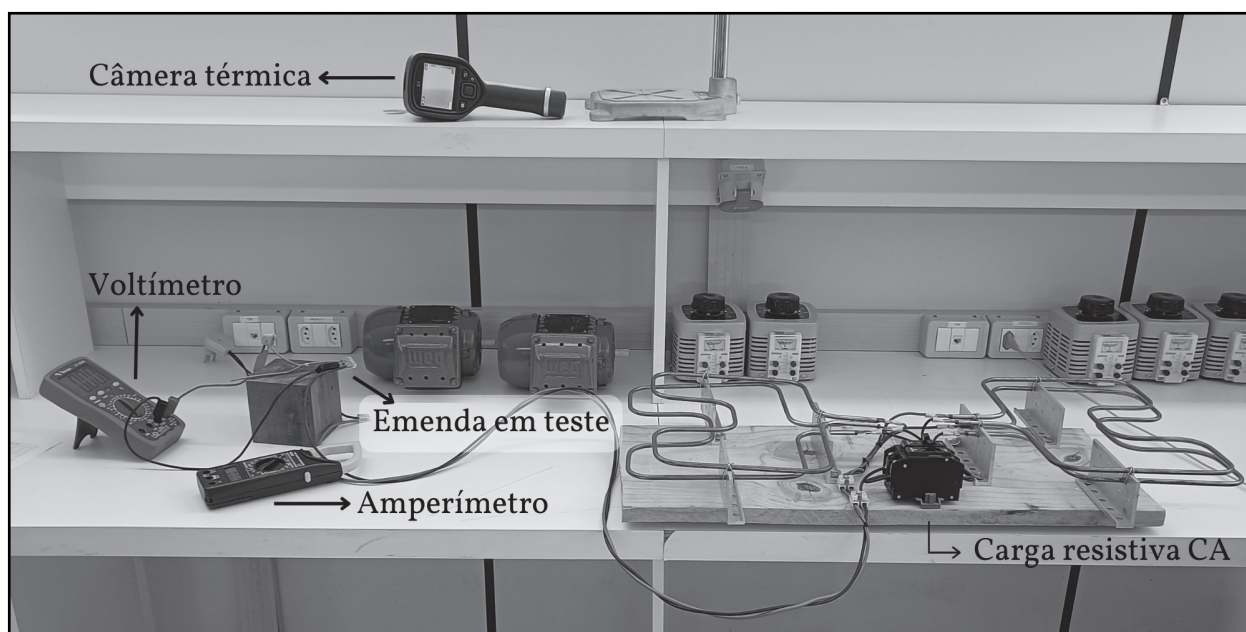
Desse modo, para o ensaio, foi desenvolvida uma carga capaz de solicitar continuamente e sem sofrer avarias uma corrente elétrica limitada a 10 A e, em seguida, de 20 A, por pelo menos 5 minutos contínuos, simulando um circuito elétrico predial em condições normais de operação. As correntes foram escolhidas,

considerando a limitação de 10 A e 20 A de corrente nominal de disjuntores típicos, para as seções de 1,5 mm² e 2,5 mm² em circuitos prediais e as limitações da rede elétrica de baixa tensão existente, como fonte. Para a montagem da carga, foram utilizadas quatro resistências de forno elétrico, de 1000 W de potência cada, ligadas em paralelo. Com a ligação de duas das resistências, obtemos 2000 W e uma corrente elétrica esperada, considerando alimentação de 220 V

monofásico, de 9,09 A e com as quatro resistências conectadas, 4000 W e 18,18 A de corrente esperada, em teoria.

A carga foi, então, ligada à alimentação de 220 V da rede elétrica comum, através de um terminal macho do tipo 2P + T 20 A, com a utilização de um amperímetro em série, para monitorar a corrente e um voltímetro. Na figura 3, é possível visualizar a montagem do teste em bancada.

Figura 3 – Circuito do teste em corrente alternada



Fonte: Os autores (2023).

Para o monitoramento da temperatura das emendas em teste, foi utilizada a câmera térmica da marca FLIR, modelo FLIR-E63900, T198547. O equipamento em questão foi posicionado em frente à emenda, de modo a focar a sua leitura de temperatura na superfície da amostra. Todavia, durante a realização do experimento, foi verificado que o aquecimento das emendas não ocorria em distribuição uniforme e linear sobre a sua superfície, de modo que apareceram pontos mais quentes que outros ao longo do tempo de observação. Portanto, foram anotados apenas os valores da temperatura de cada emenda no início do experimento e de um ponto de maior temperatura, obtido ao final dos cinco minutos monitorados no teste, chamados respectivamente de T_i , temperatura inicial e T_f temperatura final. A corrente elétrica foi anotada apenas uma vez, permanecendo estável ao longo do tempo. A tensão, finalmente foi monitorada, através de um voltímetro, tendo seu valor anotado

apenas uma vez para cada emenda, após a estabilização do valor medido no instrumento. Os valores obtidos encontram-se nas tabelas 2 e 3.

Um ponto interessante, observado nesses ensaios, é que, em todas as situações propostas, o condutor isolado apresentou temperaturas superiores à das emendas, permanecendo sempre entre 36 °C e 37 °C. Dessa forma, foi realizado um teste adicional, repetindo o procedimento, porém com as emendas isoladas com fita isolante preta. Além disso, ao invés de utilizada a câmera térmica, foi conectado um sensor do tipo PT100, para a leitura da temperatura, sempre em um ponto fixo, num multímetro do mesmo modelo utilizado na leitura de tensão. Dessa vez, foram escolhidas três emendas de cada tipo para os novos testes, as quais apresentaram comportamentos mais próximos da média. Os resultados obtidos foram reunidos na tabela 4.

Tabela 2 – Operação nominal emendas de 1,5 mm²

	Amostra	T _i (°C)	T _f (°C)	V (mV)	I (A)
Emenda de caixa	0	29,1	34,0	96,0	7,3
	1	29,8	32,6	78,0	7,3
	2	29,5	34,7	97,0	7,3
	3	29,8	32,7	59,0	7,3
	4	29,8	33,3	75,0	7,3
	5	28,9	34,0	56,0	7,3
	6	29,6	34,1	82,0	7,3
	7	29,4	33,6	44,0	7,3
	8	29,4	32,4	41,0	7,3
9	29,2	33,0	69,0	7,3	
Emenda em derivação	0	29,9	35,8	48,0	7,2
	1	29,4	35,3	46,0	7,2
	2	29,8	35,9	46,0	7,1
	3	29,5	35,5	76,0	7,2
	4	29,7	33,5	52,0	7,2
	5	29,0	35,0	76,0	7,3
	6	29,5	35,5	58,0	7,0
	7	29,2	35,0	85,0	7,3
	8	29,7	34,4	52,0	7,2
9	29,0	35,1	57,0	7,2	
Emenda em prolongamento	0	29,7	32,6	49,0	7,3
	1	29,5	33,5	69,0	7,3
	2	29,7	32,3	76,0	7,2
	3	29,3	32,0	64,0	7,3
	4	29,5	31,3	89,0	7,3
	5	29,7	32,1	67,0	7,3
	6	29,7	32,4	77,0	7,4
	7	29,3	31,1	55,0	7,3
	8	29,6	32,3	63,0	7,4
9	29,5	32,7	55,0	7,3	

Fonte: Os autores (2023).

Tabela 3 – Operação nominal emendas de 2,5 mm²

	Amostra	T _i (°C)	T _f (°C)	V (mV)	I (A)
Emenda de caixa	0	29,0	34,0	74,0	15,3
	1	28,9	32,8	66,0	15,4
	2	29,2	32,3	82,0	15,2
	3	29,3	34,7	66,0	15,3
	4	28,7	32,3	56,0	15,2
	5	28,9	31,9	42,0	15,3
	6	29,4	33,1	73,0	15,3
	7	29,0	32,5	57,0	15,3
	8	29,0	32,1	56,0	15,1
9	29,0	32,8	60,0	15,3	
Emenda em derivação	0	29,6	35,2	80,0	15,4
	1	29,2	33,5	55,0	15,5
	2	29,4	33,1	55,0	15,5
	3	29,9	33,7	46,0	15,1
	4	29,7	35,1	71,0	15,3
	5	29,5	33,1	55,0	15,5
	6	29,7	34,3	57,0	15,4
	7	29,8	33,2	53,0	15,5
	8	29,6	35,6	71,0	15,5
9	29,3	34,5	62,0	15,4	
Emenda em prolongamento	0	29,8	34,0	61,0	15,2
	1	29,9	34,4	64,0	15,2
	2	29,5	34,4	53,0	15,0
	3	29,6	33,8	48,0	15,2
	4	29,7	33,5	49,0	15,0
	5	29,8	34,6	55,0	15,2
	6	29,8	34,6	53,0	15,1
	7	29,6	34,7	53,0	15,3
	8	29,8	33,6	56,0	15,0
9	29,6	34,3	49,0	15,2	

Fonte: Os autores (2023).

Tabela 4 – Operação nominal emendas isoladas

	Seção 1,5 mm ²					Seção 2,5 mm ²				
	Amostra	T _i (°C)	T _f (°C)	V (mV)	I (A)	Amostra	T _i (°C)	T _f (°C)	V (mV)	I (A)
Emenda de caixa	4	25,2	31,8	50,0	7,0	1	25,2	32,3	50,0	14,9
	6	25,2	31,6	53,0	7,0	4	25,2	32,3	49,0	14,7
	9	25,2	31,8	64,0	7,0	9	25,2	32,8	58,0	14,8
Emenda em derivação	2	25,2	30,4	30,0	7,0	1	25,2	29,9	40,0	14,8
	3	25,2	30,9	45,0	7,1	6	25,2	30,9	40,0	14,9
	5	25,2	30,6	31,0	7,1	9	25,2	30,9	45,0	14,9
Emenda em prolongamento	1	25,2	30,9	51,0	7,0	2	25,2	29,9	51,0	14,5
	4	25,2	31,4	62,0	7,0	5	25,2	30,9	55,0	14,5
	9	25,2	31,1	58,0	7,0	6	25,2	31,1	52,0	14,5

Fonte: Os autores (2023).

Por fim, também foram feitas três emendas adicionais de caixa com metodologia “desleixada”, isto é, sem seguir a rigorosa metodologia prevista na literatura que foi utilizada para a elaboração das emendas testadas até então, a fim de simular uma emenda feita por um profissional de pouca experiência, ou ainda, despreparado. Todos os procedimentos de teste foram iguais aos anteriores, sendo que, nesse caso, foi feita a isolação da emenda com a fita preta e utilizado novamente a câmara térmica para a análise da temperatura. Os resultados encontram-se na tabela 5.

Tabela 5 – Operação nominal emenda de caixa sem padrão isolada

	Amostra	T _i (°C)	T _f (°C)	V (mV)	I (A)
1,5 mm ²	0	30,3	33,5	38,0	6,9
	1	30,2	34,5	45,0	6,9
	2	30,0	33,1	40,0	6,9
2,5 mm ²	0	30,6	39,9	45,0	15,0
	1	30,9	40,9	65,0	14,5
	2	30,6	40,1	45,0	14,5

Fonte: Os autores (2023).

2.5 Teste de resistência mecânica

O último teste aplicado visou estimar a resistência mecânica de uma emenda, consistindo na aplicação de um esforço de tração sobre ela, para verificar com qual força ocorre o rompimento da conexão. Esse teste procurou simular a condição em que a conexão está sujeita a algum tipo de força de tração em sua extremidade, isto é, ao ser puxada com o uso das mãos, por exemplo, durante a passagem inicial do circuito nos eletrodutos ou em alguma manutenção/ampliação de uma instalação existente. Além disso, conforme a NBR 5410 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004), as emendas devem garantir adequada suportabilidade mecânica, inclusive em situações de falta, sendo, portanto, a resistência mecânica um parâmetro também fundamental na qualidade de uma conexão.

Para a realização desse ensaio, foi utilizado o apoio do Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil (ITT Performance), localizado nas dependências da Unisinos. Os procedimentos foram realizados, sob a supervisão da funcionária Débora de Machado Dubina, responsável por programar e operar o equipamento de teste. A máquina utilizada foi a EMIC 23-100, da marca Instron, modelo que permite ao usuário aplicar esforços de compressão de até 2000 kN nas amostras, além da possibilidade de realizar ensaios de tração e flexão, principalmente em corpos de prova da engenharia civil. Ela conta

com controle via *software* eletrônico próprio, estando adequada às normas nacionais pertinentes ao setor e sendo capaz de fornecer resultados precisos.

Para o teste de tração, foram selecionadas apenas três emendas de cada tipo, escolhidas amostras com valores anteriores, próximos à média, sendo os resultados medidos e tabelados, bem como foi extraído da máquina um gráfico, relacionando o esforço aplicado, ao longo do tempo, em função do deslocamento das amostras. O valor anotado para cada emenda foi o de rompimento dela, ou então, em caso de não ocorrer o rompimento, o máximo valor de tração imposto pela máquina no teste, conforme é possível visualizar na tabela 6.

Tabela 6 – Máxima resistência

	Amostra	Seção	Seção
		1,5 mm ²	2,5 mm ²
Tensão máxima (N)			
Emenda de caixa	1	26,01	45,61
	2	26,74	28,67
	3	29,04	55,90
Emenda em derivação	1	127,88	272,59
	2	120,60	214,80
	3	160,55	147,81
Emenda em prolongamento	1	129,05	237,86
	2	87,00	270,98
	3	100,83	260,09

Fonte: Os autores (2023).

2.6 Análise dos resultados

Inicialmente, foi calculado o erro de medição e variáveis de medidas de posição e de dispersão, sendo elas a média, desvio padrão e escore *z*, a fim de validar a confiabilidade dos valores medidos, nos quais houve quantidade suficiente de amostras, para possibilitar esse tipo de análise, comparando-os com a distribuição normal de probabilidades. Sendo assim, as medições com escore *z* entre -2 e 2 são consideradas normais, com mais de 95% dos dados coletados, atendendo a esse critério e à regra empírica da distribuição normal (Larson; Farber, 2016).

Para a resistência elétrica das emendas, tanto em corrente contínua quanto alternada, valores médios de resistência com grandeza na ordem de mΩ são consideradas adequadas, bem como quedas de tensão inferiores a 1 V, conforme critério estabelecido pelos autores, uma vez que esses valores não são representativos, frente às grandezas do circuito elétrico em estudo. Quanto à temperatura de operação, valores

iguais ou inferiores à temperatura ambiente, ou ainda, inferiores à temperatura máxima suportada pela isolamento em PVC (70 °C) dos cabos condutores, são considerados satisfatórios.

Por fim, para a resistência mecânica, sendo a emenda em teste capaz de suportar um esforço maior do que os próprios fios que constituem o condutor flexível resistem, o resultado é considerado bom. Isto é, quando a emenda não rompeu, após o condutor utilizado na sua constituição sofrer avarias visíveis em sua forma, então, o valor máximo de tração suportado pela emenda é considerado um resultado adequado e, quando a emenda rompe, antes do condutor ser danificado, o máximo valor de tração suportado é considerado insuficiente.

2.6.1 Resistência elétrica em corrente contínua

Inicialmente, foi realizado o cálculo do erro das medidas obtidas, seguindo o método de Kleine e McClintock. O multímetro utilizado na medição de tensão foi o modelo ET-2550 da marca Minipa, no qual em seu folheto de dados técnicos, indica resolução de 0,01 mV e precisão de $\pm 0,025\%$ na escala de 400 mV. A medição de corrente foi realizada

diretamente na fonte de alimentação, modelo MPL-3305M da marca Minipa, a qual possui resolução de 0,01 A e precisão de $\pm 0,2\%$ na escala de 5 A.

Sendo assim, aplicando o método, em todas as medidas realizadas, o erro em função dos aparelhos de medida não ultrapassa 0,05 m Ω em nenhuma, motivo pelo qual ele foi desprezado nas próximas análises e não calculado para os demais testes que utilizaram o mesmo multímetro.

Com as medidas obtidas de corrente e tensão e a utilização direta da Lei de Ohm, para o cálculo da resistência elétrica de cada amostra, foram calculadas a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação e o escore z, a fim de identificar, se as medidas possuem esse parâmetro dentro de +2 e -2, de modo que as medidas sejam coerentes com uma distribuição normal. Para as 60 medidas realizadas no teste, apenas uma apresentou escore acima de 2, com valor de 2,14, ou seja, 98,33% das medidas atendem ao critério, podendo a distribuição, de forma empírica, ser considerada normal.

Os valores dos parâmetros obtidos, para as emendas com cabos de seção de 1,5 mm², podem ser observados na tabela 7.

Tabela 7 – Análise de dados emendas com seção de 1,5 mm²

Emenda	Resistência média (m Ω)	Desvio padrão (m Ω)	Coeficiente variação (%)	I (A)
De caixa	6,33	0,92	14,58	15,0
Em derivação	5,81	0,70	11,97	14,5
Em prolongamento	5,96	0,70	11,77	14,5

Fonte: Os autores (2023).

Analisando a resistência média das emendas, é possível notar que a emenda em derivação possui o menor valor médio, embora seja muito próximo da emenda em prolongamento. Notavelmente, a emenda de caixa, embora possua resistência superior às duas, não apresenta um resultado discrepante, apresentando uma resistência elétrica absoluta também muito baixa. Os desvios padrão das medidas foram

parecidos, abaixo de 1,00 m Ω , bem como os coeficientes de variação abaixo dos 15%, valores adequados, uma vez que as emendas são construções manuais sujeitas a variações, mesmo seguindo o mesmo método de construção.

Por sua vez, a tabela 8 apresenta as mesmas variáveis, dessa vez, para as emendas realizadas com os cabos de seção nominal de 2,5 mm².

Tabela 8 – Análise de dados emendas com seção de 2,5 mm²

Emenda	Resistência média (m Ω)	Desvio padrão (m Ω)	Coeficiente variação (%)	I (A)
De caixa	3,48	0,41	11,67	15,0
Em derivação	3,05	0,40	13,12	14,5
Em prolongamento	3,12	0,15	4,84	14,5

Fonte: Os autores (2023).

As emendas com seção de 2,5 mm² apresentaram comportamento análogo à seção de 1,5 mm², quanto à resistência média. Quanto às medidas em si, o resultado foi ainda mais coerente, com desvio padrão abaixo de 0,50 mΩ e, no caso da emenda em prolongamento, um coeficiente de variação baixíssimo de 4,84%. Cabe ressaltar que a resistência elétrica média é próxima a metade da resistência verificada nos cabos 1,5 mm², o que também é um resultado extremamente condizente com o esperado, uma vez que, quanto maior a seção, menor a resistência da amostra.

Finalmente, quanto à resistência elétrica em corrente contínua, dado os valores extremamente baixos encontrados e da sua proximidade entre si, não é possível afirmar categoricamente que um tipo de emenda é superior ao outro, possuindo elas um comportamento praticamente equivalente.

2.6.2 Operação em corrente alternada em condições nominais

Durante esse teste, foi possível adquirir os mesmos parâmetros de tensão e corrente do teste do item anterior, acrescido do importante parâmetro da temperatura de operação. Quanto ao tratamento dos dados, foram realizados os mesmos cálculos do item

anterior, ocorrendo novamente apenas a aparição de uma medida com escore z maior do que 2, tanto para a resistência média e queda de tensão quanto para a temperatura máxima e sua amplitude.

Analisando a capacidade de condução de corrente elétrica, ocorreram pequenas diferenças de leitura de corrente entre as medidas, provavelmente ocasionados, devido a variações na carga utilizada e ao equipamento de medida, portanto, é possível afirmar que todas as emendas foram capazes de suportar a corrente elétrica as quais foram expostas sem sofrer danos ao longo do tempo de ensaio.

Quanto à queda de tensão, todas as emendas apresentaram queda de tensão, de modo que também foi possível calcular novamente a resistência média de cada emenda. Na tabela 9, encontram-se os valores das emendas com cabos de seção de 1,5 mm².

Quanto ao comportamento da tensão e da resistência, novamente as três emendas apresentaram resultados muito semelhantes, com a emenda em derivação, apresentando a menor queda de tensão e a menor resistência média, exatamente como no teste realizado com corrente contínua. Ainda, na respectiva tabela, encontram-se os resultados para as emendas com cabo de seção nominal 2,5 mm².

Tabela 9 – Análise de dados das emendas

	Emenda	Resistência média (mΩ)	Desvio padrão (mΩ)	Coeficiente variação (%)	I (A)
Seção de 1,5 mm ²	De caixa	69,70	18,63	26,73	9,55
	Em derivação	59,60	13,46	22,59	8,28
	Em prolongamento	66,40	11,41	17,19	9,08
Seção de 2,5 mm ²	De caixa	63,20	10,88	17,21	3,93
	Em derivação	60,50	9,86	16,30	3,57
	Em prolongamento	54,10	4,93	9,11	3,54

Fonte: Os autores (2023).

O resultado obtido foi semelhante ao das emendas de 1,5 mm², nos quais as três emendas apresentaram resultados próximos, dessa vez com a emenda em prolongamento apresentando a menor queda de tensão e, conseqüentemente, a menor resistência média, porém com resultado praticamente idêntico com a emenda em derivação, o que condiz com o resultado observado no teste, em corrente contínua, para essa mesma seção.

Finalmente, quanto à queda de tensão e resistência elétrica nas condições do ensaio, todas as emendas tiveram um resultado satisfatório e coerente, com a resistência em corrente alternada, sendo um

pouco superior à apresentada em corrente contínua, conforme esperado.

Quanto à temperatura de operação, medida no mesmo teste, os valores obtidos estão relacionados na tabela 10.

O desvio padrão tanto para a amplitude quanto para a temperatura máxima ficou abaixo de 1 °C, enquanto o coeficiente de variação não foi calculado para análise de temperatura, devido a tratar-se de escala relativa. A maior temperatura foi apresentada pela emenda em derivação, justamente no ponto de trava da emenda, estando a quase 2 °C acima das outras emendas. Todavia, como essa temperatura

sempre esteve abaixo da temperatura do cabo, não é possível afirmar que qualquer uma das emendas apresentou comportamento térmico preocupante nessa condição de teste.

Para as emendas com cabos de seção 2,5 mm², a emenda de caixa apresentou a menor temperatura máxima, enquanto a emenda em prolongamento apresentou a maior, ainda que, valor praticamente

igual ao da temperatura da emenda em derivação. Nesse ensaio, a temperatura do cabo também foi superior à das emendas, de modo que provavelmente a discrepância do resultado tenha maior relação com a dissipação do calor na emenda do que com a conexão em si, sendo que, novamente, não é possível afirmar que uma emenda se comportou de maneira muito superior as outras ou de forma insuficiente.

Tabela 10 – Análise da temperatura das emendas

	Emenda	Resistência média (mΩ)	Desvio padrão (mΩ)	Coefficiente variação (%)	I (A)
Seção de 1,5 mm ²	De caixa	33,4	4,0	0,72	0,88
	Em derivação	35,3	5,8	0,42	0,39
	Em prolongamento	32,23	2,7	0,65	0,61
Seção de 2,5 mm ²	De caixa	32,9	3,8	0,84	0,83
	Em derivação	34,1	4,6	0,89	0,89
	Em prolongamento	34,2	4,5	0,41	0,44

Fonte: Os autores (2023).

Nesse caso, como os dados obtidos, relativos à temperatura de operação, não foram conclusivos com as emendas sem isolamento, sendo influenciadas pela dissipação do calor no ar, o teste foi refeito para emendas isoladas com fita preta, sendo escolhidas três emendas de cada tipo, com comportamento próximo da média nos testes anteriores e utilizado um sensor de temperatura diferente, de modo que a temperatura obtida seja sempre referente ao mesmo ponto. O resultado para as emendas com os cabos de 1,5 mm² se encontra na tabela 11.

Com a presença da fita isolante e o aumento da dificuldade de dissipação do calor, é possível notar que as amplitudes de temperatura crescem, enquanto o resultado da emenda de caixa se torna o pior, ainda que todas aqueçam de forma semelhante. Para as emendas com cabo 2,5 mm², os resultados encontram-se mais abaixo na tabela 11.

Novamente, o resultado foi semelhante nos três tipos de emenda, com a emenda de caixa, apresentando a maior temperatura e amplitude, como nas emendas com cabo de 1,5 mm² dessa análise.

Tabela 11 – Análise da temperatura das emendas com seção de 1,5 mm²

	Emenda	Temperatura Máxima média (°C)	Amplitude média de temperatura (°C)
Seção de 1,5 mm ²	De caixa	31,7	6,5
	Em derivação	30,6	5,4
	Em prolongamento	31,1	5,9
Seção de 2,5 mm ²	De caixa	32,5	7,3
	Em derivação	30,6	5,4
	Em prolongamento	30,6	5,4

Fonte: Os autores (2023).

Cabe ressaltar que a tensão e resistência média não foram recalculadas, uma vez que em função da temperatura ambiente mais baixa, durante esse ensaio e, conseqüentemente, das emendas também, o resultado esperado é uma resistência menor, porém com apenas três amostras de cada, esses valores não

serão utilizados para fins de comparação, através de medidas de dispersão.

Finalmente, como todas as emendas apresentaram resultados satisfatórios quanto à temperatura, queda de tensão e condução de corrente elétrica, foi realizado um último teste com três amostras de emendas

de caixa elaboradas, sem a utilização da padronização prevista na literatura. Pela mesma razão anterior, não foi calculada a sua resistência e tensão média, sendo

observada a temperatura das emendas com fita preta isolante e com a utilização da câmara térmica. Os valores encontrados estão na tabela 12.

Tabela 12 – Análise da temperatura das emendas sem método construtivo

Seção (mm ²)	Temperatura Máxima média (°C)	Amplitude média de temperatura (°C)
1,5	33,7	3,5
2,5	40,3	9,6

Fonte: Os autores (2023).

Para as emendas com a seção de 1,5 mm², o resultado obtido não apresentou grande variação, provavelmente em virtude de a corrente de ensaio ser muito baixa, em relação à corrente máxima suportada pelo cabo. Para a seção de 2,5 mm², o resultado encontrado foi muito relevante, com a temperatura medida sendo mais alta que a do condutor e com uma amplitude maior do que 9 °C. Ou seja, para uma

emenda “malfeita”, a temperatura de operação pode atingir valores críticos.

2.6.3 Resistência mecânica

Os valores de resistência à tração máximos, em média, encontrados no teste executado, foram anotados na tabela 13, para as emendas de ambas as seções utilizadas.

Tabela 13 – Análise da resistência mecânica das emendas

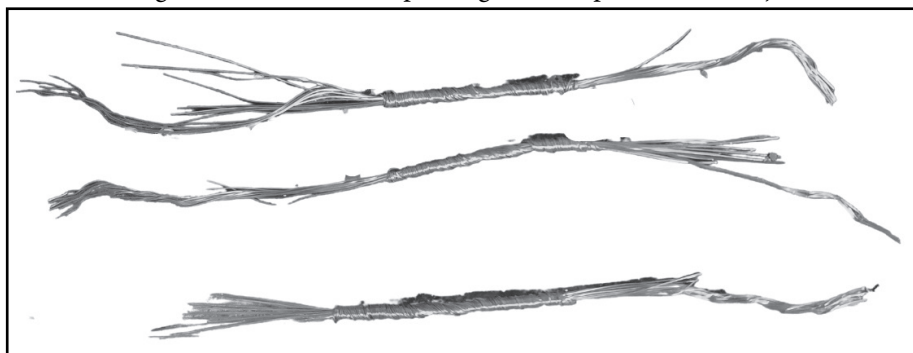
Emenda	Resistência máxima média 1,5 mm ² (N)	Resistência máxima média 2,5 mm ² (N)
De caixa	27,26	43,39
Em derivação	136,34	211,73
Em prolongamento	105,63	256,31

Fonte: Os autores (2023).

É importante ressaltar que nas duas seções nominais de condutores do estudo, tanto a emenda em derivação quanto a emenda em prolongamento não romperam durante o teste. O que ocorreu foi o início do rompimento dos fios de cobre que compõe o condutor flexível, de modo que, percebendo esse comportamento, a máquina de teste diminui o esforço aplicado, sendo, portanto, registrado para fins de cálculo

da média, o valor máximo que o equipamento aplicou nos corpos de prova. Dessa forma, após confirmar o rompimento dos fios de modo que a força aplicada na emenda passou a diminuir continuamente, o ensaio foi encerrado, considerando que a conexão estaria comprometida com o rompimento parcial do cabo condutor. Na figura 4, é possível verificar o estado pós-teste da emenda em prolongamento com cabos de 2,5 mm².

Figura 4 – Emendas em prolongamento após teste de tração



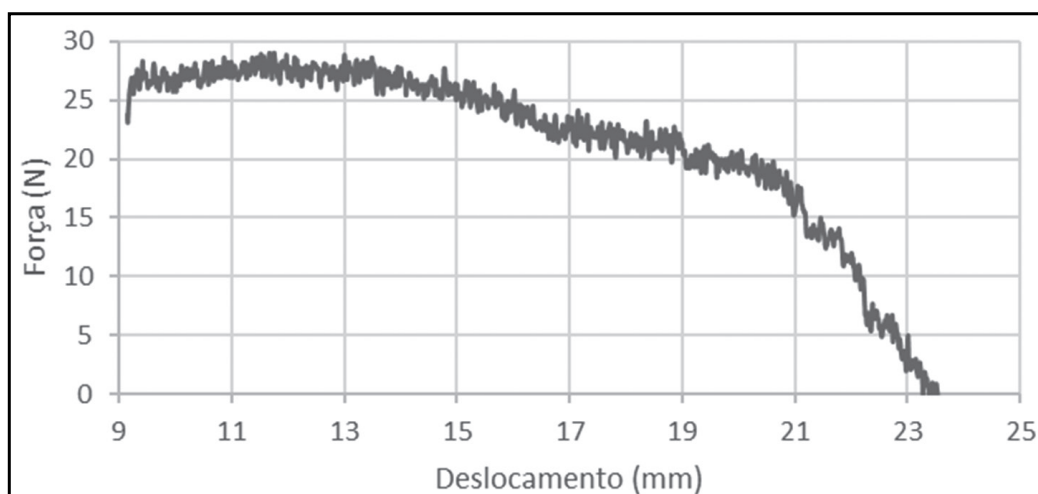
Fonte: Os autores (2023).

Como é possível observar, a emenda em prolongamento permaneceu íntegra após o teste, apenas com o condutor sendo danificado. Sendo assim, é possível avaliar que o desempenho tanto da emenda em prolongamento quanto em derivação foi excelente, suportando esforços maiores de 100 N, quando feita em cabos com seção de $1,5 \text{ mm}^2$ e de mais de 200 N em cabos com seção de $2,5 \text{ mm}^2$.

Entretanto, na emenda de caixa, para ambas as seções estudadas, ocorreu o rompimento da conexão, sendo desfeita com esforços próximos a 30 N e 50 N, respectivamente, para as seções estudadas. No gráfico 1, é possível observar a força aplicada em função do deslocamento da amostra, para uma emenda de caixa.

Já na figura 5, é possível verificar as emendas de caixa com seção de $1,5 \text{ mm}^2$, após o teste de tração.

Gráfico 1 – Força aplicada na emenda de caixa



Fonte: Os autores (2023).

Figura 5 – Emendas de caixa após teste de tração



Fonte: Os autores (2023).

Isso significa dizer que, para esforços de tração próximos a 3 kgf e 5 kgf, para as seções de $1,5 \text{ mm}^2$ e $2,5 \text{ mm}^2$, a emenda de caixa rompe totalmente sua conexão. Portanto, quanto à resistência mecânica, o desempenho da emenda de caixa é péssimo, uma vez que esforços dessa natureza podem ser facilmente impostos por qualquer instalador.

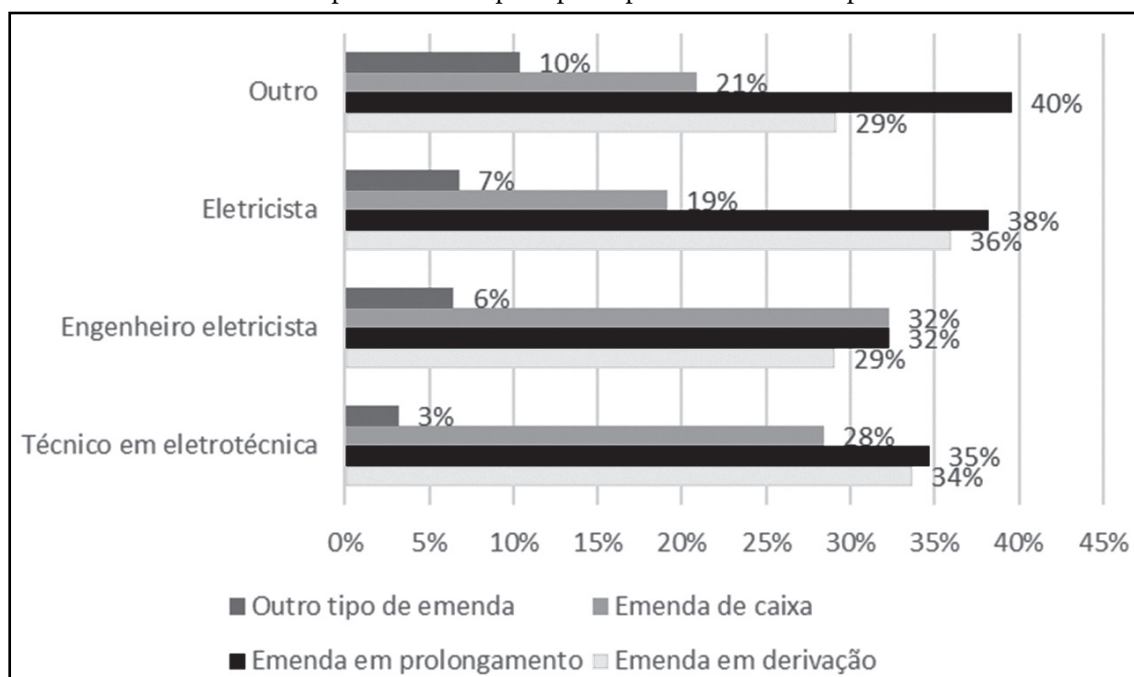
2.6.4 Questionário

O questionário foi aplicado de forma digital, de 06 de setembro de 2022 a 27 de março de 2023, sendo divulgado em grupos das redes sociais compostos por profissionais do setor elétrico de todo o País e enviado diretamente, via mensagem, através de *link*

de acesso aos profissionais conhecidos do autor. Ele obteve um total de 133 respostas de diferentes profissionais atuantes em instalações elétricas de baixa tensão em todo o Brasil. Foram levantados dados como: a formação do profissional, estado de atuação, tipos de emenda utilizados e tempo de

atuação (experiência). Todavia, dentre todas as respostas coletadas e avaliações feitas, a análise mais interessante relaciona os tipos de emenda utilizados em percentual por cada profissional, segregado por sua formação acadêmica, conforme pode ser observado no gráfico 2.

Gráfico 2 – Tipo de emenda por tipo de profissional valores percentuais



Fonte: Os autores (2023).

A emenda em prolongamento, em termos percentuais, aparece na liderança em todos os tipos de profissionais. Para os engenheiros e técnicos, há uma distribuição extremamente uniforme na utilização dos três tipos de emendas, enquanto, surpreendentemente, nos eletricistas e profissionais sem formação relacionada diretamente a elétrica, a emenda de caixa aparece com a menor frequência. Por fim, em 10% das emendas citadas por profissionais listados como outros, ocorre a utilização de algum tipo de emenda que não se enquadra nos padrões disponibilizados para escolha, embora esse percentual não seja alarmante, indica que pode haver alguma tendência desses profissionais a realizar formas de emenda alternativas.

2.6.5 Vistorias

Nas vistorias realizadas, dentro de um período de aproximadamente 6 meses, tanto em obras novas quanto nas antigas, foram encontrados os três tipos de emendas propostos no estudo, com a emenda de caixa, aparecendo de forma mais frequente. Entretanto,

não aparenta que houve método rigoroso para a realização dessas emendas, sendo desencapada parte da isolamento do condutor e realizadas as voltas da emenda sem preocupação quanto à quantidade de voltas e quantidade de fio a ser desencapada, conforme recomendado na literatura. Também ficou evidente, nas obras novas, uma tendência dos instaladores em realizar a aplicação de solda com estanho nas emendas, prática não recomendada pela NBR 5410 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004), principalmente devido a tornar o condutor quebradiço com o passar do tempo (diminuição da resistência mecânica). Em contrapartida, positivamente, não foram encontradas emendas alternativas, apenas os três tipos que foram abordadas durante todo o estudo.

2.6.6 Comparação entre as emendas

A partir da análise individual dos tipos de emenda, nos três ensaios realizados e em atendimento a um dos principais objetivos do trabalho, de comparar as emendas entre si e avaliar o seu desempenho de forma

qualitativa, foi construído um quadro avaliativo, aplicando conceitos de péssimo a bom, de acordo com os critérios de avaliação definidos na análise de dados. A comparação pode ser observada no quadro 1.

Quadro 1 – Comparativo entre as emendas

Tipo de emenda	Resistência CC	Resistência CA	Temperatura de operação	Resistência à tração
De caixa	Bom	Bom	Bom	Péssimo
Em derivação	Bom	Bom	Bom	Bom
Em prolongamento	Bom	Bom	Bom	Bom

Fonte: Os autores (2023).

Portanto, quanto aos seus propósitos específicos de aplicação para conexão, tanto a emenda em derivação, quanto a emenda em prolongamento, apresentaram desempenho excelente, enquanto a emenda de caixa falha, apenas no teste de resistência mecânica.

3 Conclusão

A principal motivação deste trabalho se deu, devido ao fato de que as emendas existentes em praticamente qualquer instalação elétrica de baixa tensão, não possuem normativas nacionais, definindo o seu padrão construtivo e parâmetros mínimos de qualidade. A partir daí, foram estudadas e elaboradas 60 emendas que foram submetidas aos testes propostos no desenvolvimento e gerando assim, dados a respeito da resistência em corrente contínua e alternada, queda de tensão, temperatura de operação e resistência à tração mecânica das emendas.

Os resultados obtidos indicaram que os três tipos de emenda elaborados, emenda de caixa, emenda em derivação e emenda em prolongamento possuem desempenho elétrico e térmico satisfatório nas condições do estudo, desde que sejam elaboradas, seguindo metodologia análoga à prevista na literatura, uma vez que atenderam aos critérios de avaliação propostos no estudo. Quanto ao desempenho mecânico, a única emenda que não apresenta desempenho satisfatório é a de caixa, a qual rompe com esforços muito pequenos, facilmente alcançáveis em uma instalação em manutenção, por exemplo, o que a faz não atender ao critério previsto na NBR 5410:2004 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004) quanto à adequada suportabilidade mecânica.

O questionário aplicado, por sua vez, revelou que todos os três tipos de emenda, previstos na literatura, são ainda muito utilizados na prática, além de que, também são feitas emendas não relacionadas neste

estudo, sendo elas chamadas apenas de “outro tipo de emenda”. As visitas a instalações elétricas em andamento e concluídas corroboraram os dados encontrados no questionário, sendo possível identificar os três tipos de emenda analisados.

Conclui-se que as emendas são técnicas válidas, para realizar a conexão entre condutores, desde que sejam elaboradas de forma adequada e minimamente metódica. Em termos de desempenho elétrico e térmico, todas emendas atenderam às expectativas, sendo que, quando há a necessidade de suportabilidade a esforços mecânicos, apenas a emenda de caixa não é uma opção recomendável.

Referências

- ANDRADE, T.; KIPPER, C. **Perícia encontra emendas em ar-condicionado que pegou fogo no Hospital São Benedito em Cuiabá**. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/mt/mato-grosso/noticia/2022/05/27/pericia-encontra-emendas-em-ar-condicionado-que-pegou-fogo-no-hospital-sao-benedito-em-cuiaba.ghtml>. Acesso em: 23 jul. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: instalações elétricas de baixa tensão. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 209 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 247-3**: cabos isolados com policloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450/750V, inclusive: parte 3: condutores isolados (sem cobertura) para instalações fixas (IEC 60227-3, MOD). Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 24 p.
- CAVALIN, G.; CERVELIN, S. **Instalações elétricas prediais**. 20. ed. São Paulo: Érica, 2010. 422 p.
- LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística aplicada**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016. 674 p.

