

ANEXO A

FOLHA DE CÁLCULOS DO DIMENSIONAMENTO DOS CABOS ELÉTRICOS

1. Dimensionamento de cabos elétricos

O dimensionamento dos cabos elétricos dos motores através dos métodos é indicado pela norma ABNT NBR 5410 na seção 6.5.1.3. São os métodos:

- Seção mínima;
- Capacidade de condução de corrente;
- Queda de tensão em regime permanente;
- Queda de tensão na partida do motor.

Como o intuito deste trabalho é analisar apenas o melhor tipo de isolação de cabo a ser usado, não foram dimensionados os dispositivos de proteção dos motores.

1.1. Método da seção mínima

Conforme afirma a NBR 5410 (2004) em seu item 6.2.6.1.1, “a seção dos condutores de fase, em circuitos de corrente alternada, e dos condutores vivos, em circuitos de corrente contínua, não deve ser inferior ao valor pertinente dado na tabela 47”. A figura 1 a seguir mostra:

Figura 1 – Seção mínima dos condutores¹

Tipo de linha		Utilização do circuito	Seção mínima do condutor mm ² - material	
Instalações fixas em geral	Condutores e cabos isolados	Circuitos de iluminação	1,5 Cu 16 Al	
		Circuitos de força ²⁾	2,5 Cu 16 Al	
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	0,5 Cu ³⁾	
	Condutores nus	Circuitos de força	10Cu 16 Al	
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	4 Cu	
Linhas flexíveis com cabos isolados		Para um equipamento específico	Como especificado na norma do equipamento	
		Para qualquer outra aplicação	0,75 Cu ⁴⁾	
		Circuitos a extra baixa tensão para aplicações especiais	0,75 Cu	

¹⁾ Seções mínimas ditadas por razões mecânicas

²⁾ Os circuitos de tomadas de corrente são considerados circuitos de força.

³⁾ Em circuitos de sinalização e controle destinados a equipamentos eletrônicos é admitida uma seção mínima de 0,1 mm².

⁴⁾ Em cabos multipolares flexíveis contendo sete ou mais veias é admitida uma seção mínima de 0,1 mm².

1.2. Método da capacidade de condução da corrente

Neste método são considerados alguns fatores que contribuem para a capacidade de condução de corrente dos cabos e o método de cálculo do projeto:

1.2.1. Fator de correção da temperatura ambiente (F_{CT})

Conforme visto anteriormente, a temperatura ambiente afeta a capacidade de condução de corrente dos cabos elétricos.

A NBR 5410, em sua Tabela 40, traz uma tabela em que são mostrados os fatores de correção de capacidade de condução de corrente dos cabos que devem ser aplicados para quando a temperatura ambiente for diferente de 30 °C ou quando a temperatura do solo for diferente de 20 °C (para linhas enterradas). Neste estudo de caso não haverá linha enterrada, dessa forma foram omitidos os fatores de correção para o solo. Na tabela 1 a seguir é mostrada:

Tabela 1 – Fatores de correção para temperaturas ambientes diferentes de 30°C para linhas não-subterrâneas

Temperatura (°C)	Isolação	
	PVC	EPR ou XLPE
Ambiente		
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	–	0,65
70	–	0,58
75	–	0,50
80	–	0,41

Fonte: Adaptado de ABNT (2004, p. 100)

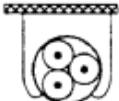
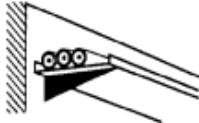
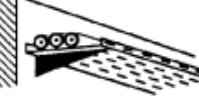
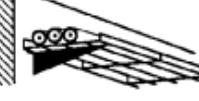
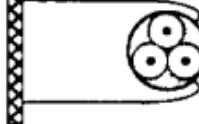
Observação: o fator de correção por temperatura ambiente (F_{CT}), apresentado na Tabela 1, é aplicado exclusivamente no critério de capacidade de condução de corrente (ampacidade) da ABNT NBR 5410, pois representa a redução da corrente admissível quando a temperatura ambiente difere das condições de referência (30 °C para linhas não subterrâneas). Assim, o F_{CT}

não altera diretamente a resistência elétrica (R) do condutor utilizada nos cálculos de queda de tensão; ele atua na seleção da seção pelo critério térmico.

1.2.2. Dimensionamento pelo método da capacidade de condução da corrente

A NBR 5410, em sua Tabela 33 – Tipos de linhas elétricas, apresenta diversos tipos de linhas elétricas, relacionando-os a um ou mais métodos de instalação. A seguir, na figura 2, a parte da tabela e que é mostrada o método de referência a ser usado:

Figura 2 – Tipos de linhas elétricas

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
11B		Cabos unipolares ou cabo multipolar afastado do teto mais de 0,3 vez o diâmetro do cabo	C
12		Cabos unipolares ou cabo multipolar em bandeja não-perfurada, perfilado ou prateleira ³⁾	C
13		Cabos unipolares ou cabo multipolar em bandeja perfurada, horizontal ou vertical ⁴⁾	E (multipolar) F (unipolares)
14		Cabos unipolares ou cabo multipolar sobre suportes horizontais, eletrocalha aramada ou tela	E (multipolar) F (unipolares)
15		Cabos unipolares ou cabo multipolar afastado(s) da parede mais de 0,3 vez o diâmetro do cabo	E (multipolar) F (unipolares)

Fonte: Adaptado de NBR 5410 (2004, p. 91)

Tanto para os cabos isolados em PVC quanto para os isolados em XLPE ou EPR, será considerado o método de instalação “E” para os cabos, pois os cabos são multipolares e estão instalados em bandeja perfurada horizontal.

As capacidades de condução de corrente para cada seção nominal de cabos isolados em PVC são mostradas na NBR 5410, na Tabela 38 - Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência E, F e G, mostrada na figura 3 a seguir.

Figura 3 – Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência E, F e G – Condutores isolados em PVC

Condutores: cobre e alumínio

Isolação: PVC

Temperatura no condutor: 70°C

Temperatura ambiente de referência: 30°C

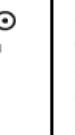
Seções nominais dos condutores mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33							
	Cabos multipolares		Cabos unipolares ¹⁾					
	Dois condutores carregados	Três condutores carregados	Dois condutores carregados, justapostos	Três condutores carregados, em trifólio	Três condutores carregados, no mesmo plano			Espaçados
					Justapostos	Horizontal	Vertical	
	Método E	Método E	Método F	Método F	Método F	Método G	Método G	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	
Cobre								
0,5	11	9	11	8	9	12	10	
0,75	14	12	14	11	11	16	13	
1	17	14	17	13	14	19	16	
1,5	22	18,5	22	17	18	24	21	
2,5	30	25	31	24	25	34	29	
4	40	34	41	33	34	45	39	
6	51	43	53	43	45	59	51	
10	70	60	73	60	63	81	71	
16	94	80	99	82	85	110	97	
25	119	101	131	110	114	146	130	

Fonte: Adaptado de NBR 5410 (2004, p. 103)

As capacidades de condução de corrente para cada seção nominal de cabos isolados em EPR ou XLPE são mostradas na NBR 5410, na Tabela 39 - Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência E, F e G, mostrada na figura 4 a seguir.

Figura 4 – Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência E, F e G – Condutores isolados em EPR ou XLPE

Condutores: cobre e alumínio
Isolação: EPR ou XLPE
Temperatura no condutor: 90°C
Temperatura ambiente de referência: 30°C

Seções nominais dos condutores mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33								
	Cabos multipolares		Cabos unipolares ¹⁾						
	Dois condutores carregados	Três condutores carregados	Dois condutores carregados, justapostos	Três condutores carregados, em trifólio	Três condutores carregados, no mesmo plano			Justapostos	
	Método E	Método E	Método F	Método F	Método F	Espaçados			
						Horizontal	Vertical		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)		
Cobre									
0,5	13	12	13	10	10	15	12		
0,75	17	15	17	13	14	19	16		
1	21	18	21	16	17	23	19		
1,5	26	23	27	21	22	30	25		
2,5	36	32	37	29	30	41	35		
4	49	42	50	40	42	56	48		
6	63	54	65	53	55	73	63		
10	86	75	90	74	77	101	88		
16	115	100	121	101	105	137	120		
25	149	127	161	135	141	182	161		

Fonte: Adaptado de NBR 5410 (2004, p. 104)

1.3. Método da queda de tensão em regime permanente

Segundo a NBR 5410 (2004, p. 115):

Em qualquer ponto de utilização da instalação, a queda de tensão verificada não deve ser superior aos seguintes valores, dados em relação ao valor da tensão nominal da instalação:

- a) 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT, no caso de transformador de propriedade da(s) unidade(s) consumidora(s);
- b) 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT da empresa distribuidora de eletricidade, quando o ponto de entrega for aí localizado;
- c) 5%, calculados a partir do ponto de entrega, nos demais casos de ponto de entrega com fornecimento em tensão secundária de distribuição;
- d) 7%, calculados a partir dos terminais de saída do gerador, no caso de grupo gerador próprio.

Do total de 7% de queda de tensão com relação a tensão nominal, foram considerados 3% de queda de tensão entre os terminais do secundário do transformador MT/BT e os outros 4% de queda de tensão entre o Centro de Controle de Motores (CCM) e o motor. Para o cálculo através deste método será considerado os 4% da queda entre o CCM e o motor.

Conforme Mamede Filho (2017, p. 166), “a seção mínima do condutor de um circuito trifásico pode ser determinada pela queda de tensão, de modo simplificado, a partir da equação”, mostrada a seguir. Ainda segundo o autor, para condutores até 25 mm², pode ser usada a fórmula (1) simplificada, tendo em vista que há pouca diferença em comparação com o método de cálculo mais exato (em que considera a reatância dos cabos), pois as reatâncias dos condutores são baixas para esses casos. A fórmula (1) é mostrada a seguir:

$$S_C = \frac{100 \times \sqrt{3} \times \rho \times \sum(L_C \times I_C)}{\Delta V_C \times V_{ff}} \quad (1)$$

Onde:

- S_C : Seção mínima do condutor (mm²);
- ρ : Resistividade do material condutor (cobre) = 1/56 Ω·mm²/m;
- L_C : Comprimento do circuito (m);
- I_C : Corrente total do circuito (A);
- ΔV_C : Queda de tensão máxima admitida do projeto (% V);
- V_{ff} : Tensão entre fase-fase (V).

1.4. Método da queda de tensão na partida do motor

Como afirma a NBR 5410 (2004, p. 155):

O dimensionamento dos condutores que alimentam motores deve ser tal que, durante a partida do motor, a queda de tensão nos terminais do dispositivo de partida não ultrapasse 10% da respectiva tensão nominal, observados os limites de 6.2.7.1 para os demais pontos de utilização da instalação.

Segundo Mamede Filho (2017, p. 420), “a partida de um motor elétrico pode solicitar o sistema de maneira severa, causando perturbações às vezes inadmissíveis.”

Segundo a Schneider Electric (2022), a fórmula para o cálculo da queda de tensão percentual durante a partida do motor pode ser dada pela fórmula (2) abaixo:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times I_{partida} \times (R \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sin \varphi_{partida}) \times L}{V} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

- $\Delta V\%$: Queda de tensão percentual (% V);
- $I_{partida}$: Corrente de partida (A), dada por: $I_{partida} = I_{projeto} \times k$, em que $k = I_P/I_N$;
- R : Resistência elétrica do cabo (Ω/km);
- $\cos \varphi_{partida}$: Fator de potência na partida do motor, também chamado de fator de potência com rotor bloqueado;
- $\sin \varphi_{partida} = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}}$;
- L : Comprimento da linha (km);

- V : Tensão de linha (V).

A NBR 5410 (2004, p. 155) diz que “para cálculo da queda de tensão, o fator de potência do motor com rotor bloqueado pode ser considerado igual a 0,3”.

Uma observação a respeito da correção de resistência vs. fator de correção da temperatura (FCT) é que, para o cálculo de queda de tensão na partida, utiliza-se a impedância do circuito, em especial a resistência R do condutor. Como catálogos de fabricantes usualmente fornecem R referida a 20 °C (isto é, R_{20}), torna-se necessário ajustar esse valor para a temperatura de operação estimada do condutor (aproximada pela temperatura ambiente do trecho analisado). Essa correção é independente do FCT: enquanto o FCT reduz a corrente admissível (critério de ampacidade), a correção de R ajusta o parâmetro elétrico utilizado na queda de tensão.

A NBR NM-280 (2002, p. 7) estabelece que é necessário fazer a correção da resistência elétrica do cabo para temperaturas diferentes de 20 °C, conforme a fórmula (3) a seguir:

$$R_{20} = R_t \times k_t \times \frac{1000}{L} \quad (3)$$

Onde:

- R_{20} : Resistência a 20°C (Ω/km);
- R_t : Resistência elétrica medida de L metros de cabo ou cordão flexível a t °C (Ω);
- k_t : Fator de correção de temperatura para a resistência elétrica, à temperatura de t °C;
- L : Comprimento do cabo ou cordão flexível (km);
- t : Temperatura do condutor, no momento da medição (°C).

O k_t , para condutores de cobre, é dado pela seguinte fórmula (4), de acordo com a NBR NM-280:

$$k_{tcu} = \frac{254,5}{234,5 + t} \quad (4)$$

A correção é calculada a seguir, para 1 km ($L = 1000$ m), de forma a manter a resistência elétrica por km, como mostrado na fórmula (5):

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

Como a correção é calculada para 1 km ($L = 1000$ m), de forma a manter a resistência elétrica por km como observado nas tabelas técnicas de fabricantes de cabos elétricos, fazendo a substituindo de L por 1000 m, na fórmula (6), tem-se que:

$$R_{20} = R_t \times \frac{254,5}{234,5 + t} \times \frac{1000}{1000} \quad (6)$$

Ou seja, como mostrado na fórmula (7) a seguir:

$$R_{20} = R_t \times \frac{254,5}{234,5 + t} \quad (7)$$

2. Dimensionamento dos cabos dos setores da indústria cerâmica fictícia

O dimensionamento dos cabos elétricos para cada um dos setores foi realizado de acordo com os critérios da ANBT NBR 5410 de 2004.

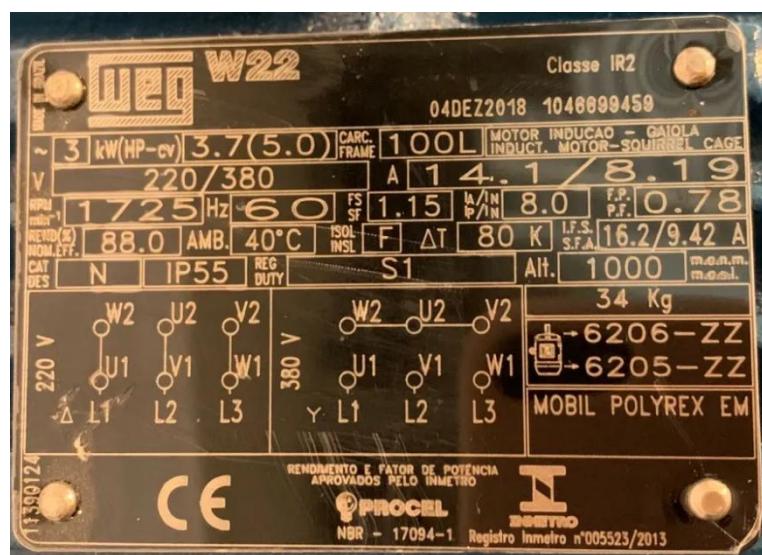
Para cada setor foi feito o dimensionamento seguindo os métodos indicados pela norma.

2.1. Setor da secadora

O dimensionamento dos cabos elétricos de um dos motores da secadora é feito através dos métodos mostrados a seguir. O método a ser escolhido é aquele método que resulta em um cabo de maior seção.

Para um dos motores usados na secadora, tem-se as seguintes especificações da placa de identificação mostradas na figura 5:

Figura 5 – Placa de identificação – Motor 5 CV da secadora – Motor WEG W22 5 CV



Fonte: Sucatas Indaial Ltda (2025)

Resumindo as informações técnicas da carga (motor) e da instalação, tem-se conforme mostrado na tabela 2:

Tabela 2 – Dados técnicos da carga e da instalação – Motor da secadora – Motor WEG W22 5 CV

Dados técnicos – Motor	
Marca/Modelo	WEG W22
Potência (kW)	3,7
Potência (HP-CV)	5,0
Tensão (V)	380
Corrente nominal – I_N (A)	8,9
Fator de potência – FP	0,78
Fator de serviço – FS	1,15
Relação da corrente de partida pela corrente nominal (I_P / I_N)	8,0
Corrente no FS – I_{FS} (A)	9,42
Dados da instalação	
Distância do CCM até o motor (m)	50
Tipo de linha elétrica	Cabos unipolares ou cabo multipolar em bandeja perfurada, horizontal ou vertical

Fonte: Autoria própria (2025)

2.1.1. Cabos isolados em PVC

Segue o dimensionamento do circuito elétrico para cabos elétricos isolados em PVC para a secadora:

2.1.1.1. Método da seção mínima – Cabos isolados em PVC

O circuito em questão é do tipo instalação fixa em geral, com condutores e cabos de cobre e isolados, para um circuito de força. Dessa forma, de acordo com a Tabela 47 da ABNT NBR 5410, a seção mínima do condutor deve ser de 2,5 mm².

$$S_{SecadoraSecaoMinimaPVC} = 2,5 \text{ mm}^2$$

2.1.1.2. Método da capacidade de condução da corrente – Cabos isolados em PVC

Nesta seção será realizado o dimensionamento dos cabos isolados em PVC pelo método da capacidade de condução de corrente. Para este método é considerado alguns parâmetros como o fator de correção de temperatura ambiente (F_{CT}) e o fator de agrupamento de cabos (F_{AC}) –

que não será levado em conta nesse caso fictício, pois será considerado que não haverá agrupamento de cabos de diferentes circuitos, ou seja, as eletrocalhas serão exclusivas para o circuito em questão.

I) Fator de correção da temperatura ambiente (F_{CT})

Com base na temperatura ambiente estimada nesse local, indicadas na monografia deste trabalho, os cabos isolados em PVC não atendem este setor.

Dessa forma, para esse setor, não é permitido o uso de cabos isolados em PVC.

II) Dimensionamento pelo método da capacidade de condução da corrente

Portanto:

$$S_{SecadoraCapCondCorrente_{PVC}} = \text{Não aplicável}$$

2.1.1.3. Método da queda de tensão em regime permanente – Cabos isolados em PVC

Portanto:

$$S_{SecadoraQuedaTensaoRegPerm_{PVC}} = \text{Não aplicável}$$

2.1.1.4. Método da queda de tensão na partida do motor – Cabos isolados em PVC

Portanto:

$$S_{SecadoraQuedaTensaoPartidaMotor_{PVC}} = \text{Não aplicável}$$

2.1.2. Cabos isolados em EPR/HEPR

Segue o dimensionamento do circuito elétrico para cabos elétricos isolados em EPR/HEPR:

2.1.2.1. Método da seção mínima – Cabos isolados em EPR/HEPR

O circuito em questão é do tipo instalação fixa em geral, com condutores e cabos de cobre e isolados, para um circuito de força. Dessa forma, de acordo com a Tabela 47 da ABNT NBR 5410, a seção mínima do condutor deve ser de:

$$S_{SecadoraSecaoMinima_{EPR}} = 2,5 \text{ mm}^2$$

2.1.2.2. Método da capacidade de condução da corrente – Cabos isolados em EPR/HEPR

Nesta seção será realizado o dimensionamento dos cabos isolados em EPR/HEPR pelo método da capacidade de condução de corrente. Para este método é considerado alguns parâmetros como o fator de correção de temperatura ambiente (F_{CT}) e o fator de agrupamento de cabos (F_{AC}) – que não será levado em conta nesse caso fictício, pois será considerado que não haverá agrupamento de cabos de diferentes circuitos, ou seja, as eletrocalhas serão exclusivas para o circuito em questão.

I) Fator de correção da temperatura ambiente (F_{CT})

Conforme visto anteriormente, a temperatura ambiente afeta a capacidade de condução de corrente dos cabos elétricos.

A NBR 5410, em sua Tabela 40, traz uma tabela em que são mostrados os fatores de correção de capacidade de condução de corrente dos cabos que devem ser aplicados para quando a temperatura ambiente for diferente de 30 °C ou quando a temperatura do solo for diferente de 20 °C (para linhas enterradas).

Com base na temperatura ambiente estimada nesse local, indicadas na monografia deste trabalho, foi adotado o seguinte fator de correção de temperatura ambiente, tendo como base a Tabela 40 da NBR 5410:

- Fator de correção de temperatura ambiente para cabos isolados em EPR ou XLPE:

$$F_{CT\ EPR/XLPE\ secadora} = 0,41$$

II) Dimensionamento pelo método da capacidade de condução da corrente

A corrente de projeto (I_B) considerada será a corrente no fator de serviço $I_{FS} = 9,42\ A$.

Segundo a Tabela 33 da NBR 5410, esse tipo de linha elétrica corresponde ao método E (para cabo multipolar) ou F (para cabos unipolares). Será considerado o uso do método E, pois os cabos são multipolares.

O motor em questão tem sua alimentação trifásica de 380V realizada por meio de um cabo multipolar com três condutores carregados.

As capacidades de condução de corrente para cada seção nominal de cabo são mostradas na NBR 5410, na Tabela 39 - Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência E, F e G. De acordo com a tabela, levando em consideração o fator de correção da temperatura ambiente para os cabos isolados em XLPE/EPR, percebe-se que o cabo de seção

2,50 mm² suportaria uma corrente de 32 A em uma temperatura ambiente de 30 °C, porém na temperatura de 80 °C verificada no ambiente, este mesmo cabo suporta uma corrente de apenas 13,12 A, maior que a corrente de projeto.

Dessa forma, através do método da capacidade de condução de corrente, obtém-se que a seção do cabo é de:

$$S_{SecadoraCapCondCorrente_{EPR}} = 2,50 \text{ mm}^2$$

2.1.2.3. Método da queda de tensão em regime permanente – Cabos isolados em EPR/HEPR

Segundo a fórmula (1) apresentada anteriormente, tem-se que:

$$S_C = \frac{100 \times \sqrt{3} \times \rho \times \sum(L_C \times I_C)}{\Delta V_C \times V_{ff}} \quad (1)$$

Substituindo os valores, na fórmula (8):

$$S_C = \frac{100 \times \sqrt{3} \times \frac{1}{56} \times \sum(50 \times 9,42)}{4 \times 380} \quad (8)$$

O valor da seção mínima encontrado foi: $S_C = 0,9584 \text{ mm}^2$.

Considerando o cabo com área de seção nominal ligeiramente superior:

$$S_C = 1,50 \text{ mm}^2$$

2.1.2.4. Método da queda de tensão na partida do motor – Cabos isolados em EPR/HEPR

Segundo a fórmula (2) apresentada para este método, mostrada a seguir:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times I_{partida} \times (R \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sin \varphi_{partida}) \times L}{V} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

- $\Delta V\%$: Queda de tensão percentual (% V);
- $I_{partida}$: Corrente de partida (A), dada por: $I_{partida} = I_{projeto} \times k$, em que $k = I_P/I_N$
- R : Resistência elétrica do cabo (Ω/km);
- $\cos \varphi_{partida}$: Fator de potência na partida do motor, também chamado de fator de potência com rotor bloqueado;
- $\sin \varphi_{partida} = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}}$;
- L : Comprimento da linha (km);
- V : Tensão de linha (V).

A NBR 5410 (2004, p. 155) diz que “para cálculo da queda de tensão, o fator de potência do motor com rotor bloqueado pode ser considerado igual a 0,3”.

Segundo a Prysmian Cabos e Sistemas do Brasil S.A (2022, p. 33), “os valores de resistências elétricas e reatâncias indutivas indicados nas tabelas a seguir destinam-se a cálculos de circuitos elétricos e representam as impedâncias de sequência positiva ou negativa do cabo: $Z = R_{ca} + jX_L$ ” e são apresentados na figura (6).

Foi considerado, inicialmente, o cabo multipolar da fabricante Prysmian, linha GSette Easy, de área de seção igual a $2,50 \text{ mm}^2$, cujo valor da resistência elétrica à 20°C é $R_{CA\ 20} = 10,20 \Omega/\text{km}$ e a reatância indutiva é $X_L = 0,11 \Omega/\text{km}$, mostrado na figura 6.

Figura 6 – Resistências elétricas e reatâncias indutivas – Prysmian GSette Easy (cobre) e Afumex Flex (cobre)

Seção nominal (mm ²)														
	s = 2.0		s = 13 cm		s = 20 cm									
	R _{ca} (Ω/km)	X _L (Ω/km)	R _{ca} (Ω/km)	X _L (Ω/km)	R _{ca} (Ω/km)	X _L (Ω/km)	R _{ca} (Ω/km)	X _L (Ω/km)	R _{ca} (Ω/km)	X _L (Ω/km)	R _{ca} (Ω/km)	X _L (Ω/km)	R _{ca} (Ω/km)	X _L (Ω/km)
1,5	17,00	0,22	17,00	0,42	17,00	0,45	17,00	0,15	17,00	0,12	17,00	0,44		
2,5	10,18	0,21	10,20	0,40	10,20	0,44	10,20	0,14	10,20	0,11	10,20	0,43		
4	6,31	0,20	6,31	0,39	6,31	0,42	6,31	0,13	6,31	0,10	6,31	0,41		
6	4,21	0,19	4,21	0,37	4,21	0,40	4,21	0,12	4,21	0,10	4,21	0,39		
10	2,44	0,19	2,44	0,36	2,44	0,39	2,44	0,12	2,44	0,10	2,44	0,38		
16	1,54	0,18	1,54	0,34	1,54	0,37	1,54	0,11	1,54	0,09	1,54	0,36		
25	1,00	0,18	1,00	0,32	1,00	0,35	1,00	0,11	1,00	0,09	1,00	0,35		
35	0,71	0,18	0,71	0,31	0,71	0,34	0,71	0,11	0,71	0,09	0,71	0,33		
50	0,49	0,17	0,49	0,30	0,49	0,33	0,49	0,10	0,49	0,09	0,49	0,32		
70	0,35	0,17	0,35	0,29	0,35	0,32	0,35	0,10	0,35	0,09	0,35	0,31		
95	0,26	0,17	0,26	0,27	0,26	0,30	0,26	0,10	0,27	0,08	0,26	0,30		
120	0,21	0,17	0,21	0,26	0,21	0,30	0,21	0,10	0,21	0,08	0,21	0,29		
150	0,17	0,17	0,17	0,26	0,17	0,29	0,17	0,10	0,17	0,08	0,17	0,28		
185	0,14	0,17	0,14	0,25	0,14	0,28	0,14	0,10	0,14	0,09	0,14	0,27		
240	0,10	0,16	0,10	0,24	0,10	0,27	0,11	0,09	0,11	0,08	0,10	0,26		
300	0,08	0,16	0,08	0,23	0,08	0,26	0,09	0,09	-	-	0,08	0,25		
400	0,06	0,16	0,06	0,22	0,06	0,25	0,07	0,09	-	-	0,06	0,24		
500	0,05	0,16	0,05	0,21	0,05	0,24	0,06	0,09	-	-	0,05	0,23		

Valores válidos para todos os tipos de instalação, exceto quando instalados em conduto metálico fechado ferromagnético.

Fonte: Prysmian Cabos e Sistemas do Brasil S.A (2022, p. 37)

A NBR NM-280 (2002, p. 7) estabelece que é necessário fazer a correção da resistência elétrica do cabo para temperaturas diferentes de 20°C , conforme a fórmula (3) mostrada anteriormente:

$$R_{20} = R_t \times k_t \times \frac{1000}{L} \quad (3)$$

Onde:

- R_{20} : Resistência a 20°C (Ω/km);
- R_t : Resistência elétrica medida de L metros de cabo ou cordão flexível a t °C (Ω);
- k_t : Fator de correção de temperatura para a resistência elétrica, à temperatura de t °C;
- L : Comprimento do cabo ou cordão flexível (km);
- t : Temperatura do condutor, no momento da medição (°C).

O k_t , para condutores de cobre, é dado pela seguinte fórmula (4), de acordo com a NBR NM-280:

$$k_{t \text{ cu}} = \frac{254,5}{234,5 + t} \quad (4)$$

Para a temperatura de 80 °C se faz necessário a correção da resistência elétrica do cabo. A correção é calculada a seguir, para 1 km ($L = 1000 \text{ m}$), de forma a manter a resistência elétrica por km, mostrada na fórmula (5):

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

Substituindo os valores e realizando o cálculo, mostrados na fórmula (9):

$$10,20 = R_{t \text{ 80}} \times \frac{254,5}{234,5 + 80} \times \frac{1000}{1000} \quad (9)$$

Isolando o termo, temos que:

$$R_{t \text{ 80}} = 12,6047 \Omega/km$$

No cálculo da queda de tensão percentual, realizando a troca dos termos, na fórmula (10) temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times \left(I_{projeto} \times \frac{I_P}{I_N} \right) \times \left(R_{t \text{ 80}} \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}} \right) \times L}{V} \times 100 \quad (10)$$

Substituindo os valores, tem-se a fórmula (11):

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (9,42 \times 8,0) \times \left(12,6047 \times 0,3 + 0,11 \times \sqrt{1 - 0,3^2} \right) \times 0,05}{380} \times 100 \quad (11)$$

Obtemos o resultado:

$$\Delta V\% = 6,6747 \%$$

Como observado, a queda de tensão obtida foi maior que os 4% máximos estipulados anteriormente.

Recalculando para a seção comercial superior seguinte, ou seja $4,0 \text{ mm}^2$, em que o valor da resistência elétrica à 20°C é $R_{CA\ 20} = 6,31 \Omega/\text{km}$ e a reatância indutiva é $X_L = 0,10 \Omega/\text{km}$, conforme fórmula (5) a seguir:

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

Substituindo os valores e realizando o cálculo conforme a fórmula (12):

$$6,31 = R_{t\ 80} \times \frac{254,5}{234,5 + 80} \times \frac{1000}{1000} \quad (12)$$

Isolando o termo, temos que:

$$R_{t\ 80} = 7,7976 \Omega/\text{km}$$

No cálculo da queda de tensão percentual, realizando a troca dos termos, temos na fórmula (13) que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times \left(I_{projeto} \times \frac{I_P}{I_N} \right) \times \left(R_{t\ 80} \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}} \right) \times L}{V} \times 100 \quad (13)$$

Substituindo os valores, temos na fórmula (14) que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (9,42 \times 8,0) \times \left(7,7976 \times 0,3 + 0,10 \times \sqrt{1 - 0,3^2} \right) \times 0,05}{380} \times 100 \quad (14)$$

Obtemos o resultado:

$$\Delta V\% = 4,1815 \%$$

Novamente a queda de tensão obtida foi maior que os 4% máximos estipulados anteriormente.

Recalculando para a seção comercial superior seguinte, ou seja $6,0 \text{ mm}^2$, em que o valor da resistência elétrica à 20°C é $R_{CA\ 20} = 4,21 \Omega/\text{km}$ e a reatância indutiva é $X_L = 0,10 \Omega/\text{km}$, conforme mostrado na fórmula (5):

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

Substituindo os valores e realizando o cálculo, conforme a fórmula (15):

$$4,21 = R_{t \ 80} \times \frac{254,5}{234,5 + 80} \times \frac{1000}{1000} \quad (15)$$

Isolando o termo, temos que:

$$R_{t \ 80} = 5,2025 \Omega/km$$

No cálculo da queda de tensão percentual, realizando a troca dos termos na fórmula (16), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (I_{projeto} \times \frac{I_P}{I_N}) \times (R_{t \ 80} \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}}) \times L}{V} \times 100 \quad (16)$$

Substituindo os valores, temos que, como mostrado na fórmula (17):

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (9,42 \times 8,0) \times (5,2025 \times 0,3 + 0,10 \times \sqrt{1 - 0,3^2}) \times 0,05}{380} \times 100 \quad (17)$$

Obtemos o resultado:

$$\Delta V\% = 2,8444 \%$$

Logo, a seção mínima para este método utilizando a mencionada marca e modelo do cabo é:

$$S_C = 6,0 \ mm^2$$

2.1.3. Cabos isolados em XLPE

Segue o dimensionamento do circuito elétrico para cabos elétricos isolados em XLPE:

2.1.3.1. Método da seção mínima – Cabos isolados em XLPE

O circuito em questão é do tipo instalação fixa em geral, com condutores e cabos de cobre e isolados, para um circuito de força. Dessa forma, de acordo com a Tabela 47 da ABNT NBR 5410, a seção mínima do condutor deve ser de:

$$S_{SecadoraSecaoMinimaXLPE} = 2,5 \ mm^2$$

2.1.3.2. Método da capacidade de condução da corrente – Cabos isolados em XLPE

Nesta seção será realizado o dimensionamento dos cabos isolados em XLPE pelo método da capacidade de condução de corrente. Para este método é considerado alguns parâmetros como o fator de correção de temperatura ambiente (F_{CT}) e o fator de agrupamento de cabos (F_{AC}) – que não será levado em conta nesse caso fictício, pois será considerado que não haverá agrupamento de cabos de diferentes circuitos, ou seja, as eletrocalhas serão exclusivas para o circuito em questão.

I) Fator de correção da temperatura ambiente (F_{CT})

Conforme visto anteriormente, a temperatura ambiente afeta a capacidade de condução de corrente dos cabos elétricos.

A NBR 5410, em sua Tabela 40, traz uma tabela em que são mostrados os fatores de correção de capacidade de condução de corrente dos cabos que devem ser aplicados para quando a temperatura ambiente for diferente de 30 °C ou quando a temperatura do solo for diferente de 20 °C (para linhas enterradas).

Com base na temperatura ambiente estimada nesse local, indicadas na monografia deste trabalho, foi adotado o seguinte fator de correção de temperatura ambiente, tendo como base a Tabela 40 da NBR 5410:

- Fator de correção de temperatura ambiente para cabos isolados em EPR ou XLPE:

$$F_{CT\ EPR/XLPE\ secadora} = 0,41$$

II) Dimensionamento pelo método da capacidade de condução da corrente

A corrente de projeto (I_B) considerada será a corrente no fator de serviço $I_{FS} = 9,42\ A$.

Segundo a Tabela 33 da NBR 5410, esse tipo de linha elétrica corresponde ao método E (para cabo multipolar) ou F (para cabos unipolares). Será considerado o uso do método E, pois os cabos são multipolares.

O motor em questão tem sua alimentação trifásica de 380V realizada por meio de um cabo multipolar com três condutores carregados.

As capacidades de condução de corrente para cada seção nominal de cabo são mostradas na NBR 5410, na Tabela 39 - Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência E, F e G. De acordo com a tabela, levando em consideração o fator de correção da temperatura ambiente para os cabos isolados em XLPE/EPR, percebe-se que o cabo de seção

2,50 mm² suportaria uma corrente de 32 A em uma temperatura ambiente de 30 °C, porém na temperatura de 80 °C verificada no ambiente, este mesmo cabo suporta uma corrente de apenas 13,12 A, maior que a corrente de projeto.

Dessa forma, através do método da capacidade de condução de corrente, obtém-se que a seção do cabo é de:

$$S_{SecadoraCapCondCorrente_{XLPE}} = 2,50 \text{ mm}^2$$

2.1.3.3. Método da queda de tensão em regime permanente – Cabos isolados em XLPE

Segundo a fórmula (1) apresentada anteriormente, tem-se que:

$$S_C = \frac{100 \times \sqrt{3} \times \rho \times \sum(L_C \times I_C)}{\Delta V_C \times V_{ff}} \quad (1)$$

Substituindo os valores, tem-se a fórmula (18):

$$S_C = \frac{100 \times \sqrt{3} \times \frac{1}{56} \times \sum(50 \times 9,42)}{4 \times 380} \quad (18)$$

O valor da seção mínima encontrado foi: $S_C = 0,9584 \text{ mm}^2$.

Considerando o cabo com área de seção nominal ligeiramente superior:

$$S_C = 1,50 \text{ mm}^2$$

2.1.3.4. Método da queda de tensão na partida do motor – Cabos isolados em XLPE

Segundo a fórmula (2) apresentada para este método, mostrada a seguir:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times I_{partida} \times (R \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sin \varphi_{partida}) \times L}{V} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

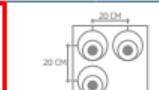
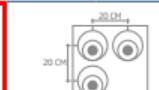
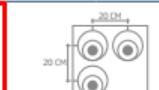
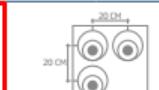
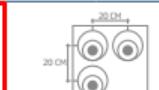
- $\Delta V\%$: Queda de tensão percentual (% V);
- $I_{partida}$: Corrente de partida (A), dada por: $I_{partida} = I_{projeto} \times k$, em que $k = I_P/I_N$
- R : Resistência elétrica do cabo (Ω/km);
- $\cos \varphi_{partida}$: Fator de potência na partida do motor, também chamado de fator de potência com rotor bloqueado;
- $\sin \varphi_{partida} = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}}$;
- L : Comprimento da linha (km);
- V : Tensão de linha (V).

A NBR 5410 (2004, p. 155) diz que “para cálculo da queda de tensão, o fator de potência do motor com rotor bloqueado pode ser considerado igual a 0,3”.

Segundo a Prysmian Cabos e Sistemas do Brasil S.A (2022, p. 33), “os valores de resistências elétricas e reatâncias indutivas indicados nas tabelas a seguir destinam-se a cálculos de circuitos elétricos e representam as impedâncias de sequência positiva ou negativa do cabo: $Z = R_{ca} + jX_L$ ” e são apresentados na figura 7.

Foi considerado, inicialmente, o cabo multipolar da fabricante Prysmian, linha Voltenax, de área de seção igual a $2,50 \text{ mm}^2$, cujo valor da resistência elétrica à 20°C é $R_{CA\ 20} = 9,45 \Omega/\text{km}$ e a reatância indutiva é $X_L = 0,11 \Omega/\text{km}$.

Figura 7 – Resistências elétricas e reatâncias indutivas – Prysmian Voltenax (cobre) e Voltalene (cobre)

Seção nominal (mm ²)												
	$s = 2.D$		$s = 13 \text{ cm}$		$s = 20 \text{ cm}$							
	R_{ca} (Ω/km)	X_L (Ω/km)	R_{ca} (Ω/km)	X_L (Ω/km)	R_{ca} (Ω/km)	X_L (Ω/km)	R_{ca} (Ω/km)	X_L (Ω/km)	R_{ca} (Ω/km)	X_L (Ω/km)	R_{ca} (Ω/km)	X_L (Ω/km)
1,5	15,40	0,17	15,40	0,42	15,40	0,45	15,40	0,15	15,40	0,12	15,40	0,44
2,5	9,45	0,16	9,45	0,40	9,45	0,44	9,45	0,14	9,45	0,11	9,45	0,43
4	5,88	0,15	5,88	0,39	5,88	0,42	5,88	0,13	5,88	0,10	5,88	0,41
6	3,93	0,14	3,93	0,37	3,93	0,40	3,93	0,12	3,93	0,10	3,93	0,39
10	2,33	0,14	2,33	0,36	2,33	0,39	2,33	0,12	2,33	0,10	2,33	0,38
16	1,47	0,13	1,47	0,34	1,47	0,37	1,47	0,11	1,47	0,09	1,47	0,36
25	0,93	0,13	0,93	0,32	0,93	0,35	0,93	0,11	0,93	0,09	0,93	0,35
35	0,67	0,12	0,67	0,31	0,67	0,34	0,67	0,11	0,67	0,09	0,67	0,33
50	0,49	0,12	0,49	0,30	0,49	0,33	0,49	0,10	0,49	0,09	0,49	0,32
70	0,34	0,12	0,34	0,29	0,34	0,32	0,34	0,10	0,34	0,09	0,34	0,31
95	0,25	0,12	0,25	0,27	0,25	0,30	0,25	0,10	0,25	0,08	0,25	0,30
120	0,20	0,11	0,20	0,26	0,20	0,30	0,20	0,10	0,20	0,08	0,20	0,29
150	0,16	0,11	0,16	0,26	0,16	0,29	0,16	0,10	0,16	0,08	0,16	0,28
185	0,13	0,11	0,13	0,25	0,13	0,28	0,13	0,10	0,13	0,09	0,13	0,27
240	0,10	0,11	0,10	0,24	0,10	0,27	0,10	0,09	0,10	0,08	0,10	0,26
300	0,08	0,11	0,08	0,23	0,08	0,26	0,08	0,09	-	-	0,08	0,25
400	0,07	0,11	0,06	0,22	0,06	0,25	0,07	0,09	-	-	0,06	0,24
500	0,05	0,11	0,05	0,21	0,05	0,24	0,05	0,09	-	-	0,05	0,23

Nota (1): Cabo Voltenax • Valores válidos para todos os tipos de instalação, exceto quando instalados em conduto metálico fechado ferromagnético.

Fonte: Prysmian Cabos e Sistemas do Brasil S.A (2022, p. 38)

A NBR NM-280 (2002, p. 7) estabelece que é necessário fazer a correção da resistência elétrica do cabo para temperaturas diferentes de 20°C , conforme a fórmula (3) apresentada anteriormente:

$$R_{20} = R_t \times k_t \times \frac{1000}{L} \quad (3)$$

Onde:

- R_{20} : Resistência a 20°C (Ω/km);
- R_t : Resistência elétrica medida de L metros de cabo ou cordão flexível a t °C (Ω);
- k_t : Fator de correção de temperatura para a resistência elétrica, à temperatura de t °C;
- L : Comprimento do cabo ou cordão flexível (km);
- t : Temperatura do condutor, no momento da medição (°C).

O k_t , para condutores de cobre, é dado pela fórmula (4), de acordo com a NBR NM-280:

$$k_{t\,cu} = \frac{254,5}{234,5 + t} \quad (4)$$

Para a temperatura de 80 °C se faz necessário a correção da resistência elétrica do cabo. A correção é calculada a seguir, na fórmula (5), para 1 km ($L = 1000$ m), de forma a manter a resistência elétrica por km:

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

Substituindo os valores e realizando o cálculo na fórmula (19):

$$9,45 = R_{t\,80} \times \frac{254,5}{234,5 + 80} \times \frac{1000}{1000} \quad (19)$$

Isolando o termo, temos que:

$$R_{t\,80} = 11,6779 \Omega/km$$

No cálculo da queda de tensão percentual, realizando a troca dos termos na fórmula (20), temos que:

$$\Delta V \% = \frac{\sqrt{3} \times \left(I_{projeto} \times \frac{I_P}{I_N} \right) \times \left(R_{t\,80} \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}} \right) \times L}{V} \times 100 \quad (20)$$

Substituindo os valores, na fórmula (21), temos que:

$$\Delta V \% = \frac{\sqrt{3} \times (9,42 \times 8,0) \times \left(11,6779 \times 0,3 + 0,11 \times \sqrt{1 - 0,3^2} \right) \times 0,05}{380} \times 100 \quad (21)$$

Obtemos o resultado:

$$\Delta V\% = 6,1971 \%$$

Como observado, a queda de tensão obtida foi maior que os 4% máximos estipulados anteriormente.

Recalculando para a seção comercial superior seguinte, ou seja 4,0 mm², em que o valor da resistência elétrica à 20 °C é $R_{CA\ 20} = 5,88 \Omega/km$ e a reatância indutiva é $X_L = 0,10 \Omega/km$, conforme mostrado na fórmula (3):

$$R_{20} = R_t \times \frac{254,5}{234,5 + t} \times \frac{1000}{L} \quad (3)$$

Substituindo os valores na fórmula (22) e realizando o cálculo:

$$5,88 = R_{t\ 80} \times \frac{254,5}{234,5 + 80} \times \frac{1000}{1000} \quad (22)$$

Isolando o termo, temos que:

$$R_{t\ 80} = 7,2662 \Omega/km$$

No cálculo da queda de tensão percentual, realizando a troca dos termos, na fórmula (23) temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (I_{projeto} \times \frac{I_P}{I_N}) \times (R_{t\ 80} \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}}) \times L}{V} \times 100 \quad (23)$$

Substituindo os valores, na fórmula (24), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (9,42 \times 8,0) \times (7,2662 \times 0,3 + 0,10 \times \sqrt{1 - 0,3^2}) \times 0,05}{380} \times 100 \quad (24)$$

Obtemos o resultado:

$$\Delta V\% = 3,9077 \%$$

Logo, a seção mínima para este método utilizando a mencionada marca e modelo do cabo é:

$$S_C = 4,0 \text{ mm}^2$$

2.2. Setor do forno

O dimensionamento dos cabos elétricos de um dos motores utilizados no forno é feito através dos métodos mostrados a seguir. O método a ser escolhido é aquele método que resulta em um cabo de maior seção.

Para um dos motores usados no forno, tem-se as seguintes especificações retiradas no site do fabricante do motor, conforme mostra a figura 8:

Figura 8 – Dados técnicos – Motor 60 CV do forno – Motor WEG W22 Premium 10 CV



Fonte: Sucatas Indaial Ltda (2025)

Resumindo as informações técnicas da carga (motor) e da instalação, na tabela 3, tem-se que:

Tabela 3 – Dados técnicos da carga e da instalação – Motor do forno – Motor WEG W22 50 CV

Dados técnicos – Motor	
Marca/Modelo	WEG W22 Premium
Potência (kW)	7,5
Potência (HP-CV)	10
Tensão (V)	380
Corrente nominal – I_N (A)	14,8
Fator de potência – FP	0,84
Fator de serviço – FS	1,25
Relação da corrente de partida pela corrente nominal (I_P / I_N)	8,2
Corrente no FS – I_{FS} (A)	$1,25 \times 14,8 = 18,5$
Dados da instalação	
Distância do CCM até o motor (m)	50
Tipo de linha elétrica	Cabos unipolares ou cabo multipolar em bandeja perfurada, horizontal ou vertical

Fonte: Autoria própria (2025)

2.2.1. Cabos isolados em PVC

Segue o dimensionamento do circuito elétrico para cabos elétricos isolados em PVC:

2.2.1.1. Método da seção mínima – Cabos isolados em PVC

O circuito em questão é do tipo instalação fixa em geral, com condutores e cabos de cobre e isolados, para um circuito de força. Dessa forma, de acordo com a Tabela 47 da ABNT NBR 5410, a seção mínima do condutor deve ser de:

$$S_{Forno\ Seção\ Mínima\ PVC} = 2,5\ mm^2$$

2.2.1.2. Método da capacidade de condução da corrente – Cabos isolados em PVC

Nesta seção será realizado o dimensionamento dos cabos isolados em PVC pelo método da capacidade de condução de corrente. Para este método é considerado alguns parâmetros como o fator de correção de temperatura ambiente (F_{CT}) e o fator de agrupamento de cabos (F_{AC}) – que não será levado em conta nesse caso fictício, pois será considerado que não haverá

agrupamento de cabos de diferentes circuitos, ou seja, as eletrocalhas serão exclusivas para o circuito em questão.

I) Fator de correção da temperatura ambiente (F_{CT})

Conforme visto anteriormente, a temperatura ambiente afeta a capacidade de condução de corrente dos cabos elétricos.

A NBR 5410, em sua Tabela 40, traz uma tabela em que são mostrados os fatores de correção de capacidade de condução de corrente dos cabos que devem ser aplicados para quando a temperatura ambiente for diferente de 30 °C ou quando a temperatura do solo for diferente de 20 °C (para linhas enterradas).

Com base na temperatura ambiente estimada nesse local, indicadas na monografia deste trabalho, foi adotado o seguinte fator de correção de temperatura ambiente, tendo como base a Tabela 40 da NBR 5410:

- Fator de correção de temperatura ambiente para cabos isolados em PVC:
 $F_{CT\ PVC\ forno} = 0,79$

II) Dimensionamento pelo método da capacidade de condução da corrente

A corrente de projeto (I_B) considerada será a corrente no fator de serviço $I_{FS} = 18,50\ A$.

Segundo a Tabela 33 da NBR 5410, esse tipo de linha elétrica corresponde ao método E (para cabo multipolar) ou F (para cabos unipolares). Será considerado o uso do método E, pois os cabos são multipolares.

O motor em questão tem sua alimentação trifásica de 380V realizada por meio de um cabo multipolar com três condutores carregados.

As capacidades de condução de corrente para cada seção nominal de cabo são mostradas na NBR 5410, na Tabela 38 - Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência E, F e G. De acordo com a tabela, levando em consideração o fator de correção da temperatura ambiente para os cabos multipolares isolados em PVC, percebe-se que o cabo de seção 2,5 mm² suportaria uma corrente de 25 A em uma temperatura ambiente de 30 °C, porém na temperatura de 45 °C verificada no ambiente, este mesmo cabo suporta uma corrente de apenas 19,75 A, maior que a corrente de projeto.

Dessa forma, através do método da capacidade de condução de corrente, obtém-se que a seção do cabo é de:

$$S_{FornoCapCondCorrente_{PVC}} = 2,5 \text{ mm}^2$$

2.2.1.3. Método da queda de tensão em regime permanente – Cabos isolados em PVC

Segundo a fórmula (1) apresentada anteriormente, tem-se que:

$$S_C = \frac{100 \times \sqrt{3} \times \rho \times \sum(L_C \times I_C)}{\Delta V_C \times V_{ff}} \quad (1)$$

Substituindo os valores na fórmula (25):

$$S_C = \frac{100 \times \sqrt{3} \times \frac{1}{56} \times \sum(50 \times 18,50)}{4 \times 380} \quad (25)$$

O valor da seção mínima encontrado foi: $S_C = 1,8822 \text{ mm}^2$.

Considerando o cabo com área de seção nominal ligeiramente superior:

$$S_C = 2,5 \text{ mm}^2$$

2.2.1.4. Método da queda de tensão na partida do motor – Cabos isolados em PVC

Segundo a fórmula (2) apresentada anteriormente para este método, mostrada a seguir:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times I_{partida} \times (R \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sin \varphi_{partida}) \times L}{V} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

- $\Delta V\%$: Queda de tensão percentual (% V);
- $I_{partida}$: Corrente de partida (A), dada por: $I_{partida} = I_{projeto} \times k$, em que $k = I_P/I_N$
- R : Resistência elétrica do cabo (Ω/km);
- $\cos \varphi_{partida}$: Fator de potência na partida do motor, também chamado de fator de potência com rotor bloqueado;
- $\sin \varphi_{partida} = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}}$;
- L : Comprimento da linha (km);
- V : Tensão de linha (V).

A NBR 5410 (2004, p. 155) diz que “para cálculo da queda de tensão, o fator de potência do motor com rotor bloqueado pode ser considerado igual a 0,3”.

Segundo a Prysmian Cabos e Sistemas do Brasil S.A (2022, p. 33), “os valores de resistências elétricas e reatâncias indutivas indicados nas tabelas a seguir destinam-se a cálculos de circuitos elétricos e representam as impedâncias de sequência positiva ou negativa do cabo: $Z = Rca + jXL$ ” e são apresentados na figura 9.

Foi considerado, inicialmente, o cabo multipolar da fabricante Prysmian, linha Sintenax Flex, de área de seção igual a $2,5 \text{ mm}^2$, cujo valor da resistência elétrica à 20°C é $R_{CA\ 20} = 9,55 \Omega/\text{km}$ e a reatância indutiva é $X_L = 0,12 \Omega/\text{km}$.

Figura 9 – Resistências Elétricas e Reatâncias Indutivas - Sintenax Flex (cobre)

Seção nominal (mm ²)												
	s = 2 D		s = 13 cm		s = 20 cm							
	R _{ca} (Ω/km)	X _L (Ω/km)	R _{ca} (Ω/km)	X _L (Ω/km)	R _{ca} (Ω/km)	X _L (Ω/km)	R _{ca} (Ω/km)	X _L (Ω/km)	R _{ca} (Ω/km)	X _L (Ω/km)	R _{ca} (Ω/km)	X _L (Ω/km)
1,5	15,90	0,23	15,90	0,42	15,90	0,46	15,90	0,16	15,90	0,13	15,90	0,45
2,5	9,55	0,22	9,55	0,41	9,55	0,44	9,55	0,15	9,55	0,12	9,55	0,43
4	5,92	0,21	5,92	0,39	5,92	0,42	5,92	0,15	5,92	0,12	5,92	0,41
6	3,95	0,20	3,95	0,37	3,95	0,41	3,95	0,13	3,95	0,11	3,95	0,40
10	2,29	0,19	2,29	0,35	2,29	0,39	2,29	0,12	2,29	0,10	2,29	0,38
16	1,45	0,18	1,45	0,33	1,45	0,36	1,45	0,11	1,45	0,09	1,45	0,35
25	0,93	0,18	0,93	0,32	0,93	0,35	0,93	0,11	0,93	0,10	0,93	0,34
35	0,66	0,17	0,66	0,30	0,66	0,33	0,66	0,10	0,66	0,09	0,66	0,32
50	0,46	0,17	0,46	0,29	0,46	0,32	0,46	0,10	0,46	0,09	0,46	0,31
70	0,33	0,17	0,33	0,28	0,33	0,31	0,33	0,10	0,33	0,09	0,33	0,30
95	0,25	0,17	0,25	0,26	0,25	0,30	0,25	0,10	0,25	0,09	0,25	0,29
120	0,19	0,17	0,19	0,26	0,19	0,29	0,20	0,10	0,20	0,09	0,19	0,28
150	0,16	0,17	0,16	0,25	0,16	0,28	0,16	0,10	0,16	0,09	0,16	0,27
185	0,13	0,17	0,13	0,24	0,13	0,27	0,13	0,10	0,13	0,09	0,13	0,26
240	0,10	0,17	0,10	0,23	0,10	0,26	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10	0,25
300	0,08	0,16	0,08	0,21	0,08	0,25	0,08	0,09	-	-	0,08	0,24
400	0,06	0,16	0,06	0,21	0,06	0,24	0,06	0,09	-	-	0,06	0,23
500	0,05	0,16	0,05	0,20	0,05	0,23	0,05	0,09	-	-	0,05	0,23

Valores válidos para todos os tipos de instalação, exceto quando instalados em conduto metálico fechado ferromagnético.

Fonte: Prysmian Cabos e Sistemas do Brasil S.A (2022, p. 36)

A NBR NM-280 (2002, p. 7) estabelece que é necessário fazer a correção da resistência elétrica do cabo para temperaturas diferentes de 20°C , conforme a fórmula (3) mostrada anteriormente:

$$R_{20} = R_t \times k_t \times \frac{1000}{L} \quad (3)$$

Onde:

- R_{20} : Resistência a 20°C (Ω/km);
- R_t : Resistência elétrica medida de L metros de cabo ou cordão flexível a $t^\circ\text{C}$ (Ω);
- k_t : Fator de correção de temperatura para a resistência elétrica, à temperatura de $t^\circ\text{C}$;
- L : Comprimento do cabo ou cordão flexível (km);
- t : Temperatura do condutor, no momento da medição ($^\circ\text{C}$).

O k_t , para condutores de cobre, é dado pela seguinte fórmula (4) já mostrada anteriormente, de acordo com a NBR NM-280:

$$k_{t\ cu} = \frac{254,5}{234,5 + t} \quad (4)$$

Para a temperatura de 45 °C se faz necessário a correção da resistência elétrica do cabo. A correção é calculada a seguir, na fórmula (5), apresentada anteriormente, para 1 km ($L = 1000$ m), de forma a manter a resistência elétrica por km:

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

Substituindo os valores e realizando o cálculo, na fórmula (26):

$$9,55 = R_{t\ 45} \times \frac{254,5}{234,5 + 45} \times \frac{1000}{1000} \quad (26)$$

Isolando o termo, temos que:

$$R_{t\ 45} = 10,4901 \Omega/km$$

No cálculo da queda de tensão percentual, realizando a troca dos termos, na fórmula (27), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times \left(I_{projeto} \times \frac{I_P}{I_N} \right) \times \left(R_{t\ 45} \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}} \right) \times L}{V} \times 100 \quad (27)$$

Substituindo os valores, na fórmula (28), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (18,50 \times 8,2) \times \left(10,4901 \times 0,3 + 0,12 \times \sqrt{1 - 0,3^2} \right) \times 0,05}{380} \times 100 \quad (28)$$

Obtemos o resultado:

$$\Delta V\% = 11,2759 \%$$

Como observado, a queda de tensão obtida foi maior que os 4% máximos estipulados anteriormente.

Recalculando para a seção comercial superior seguinte, ou seja $4,0\text{ mm}^2$, em que o valor da resistência elétrica à 20 °C é $R_{CA\ 20} = 5,92 \Omega/km$ e a reatância indutiva é $X_L = 0,12 \Omega/km$:

Então, na fórmula (29):

$$5,92 = R_{t\ 45} \times \frac{254,5}{234,5 + 45} \times \frac{1000}{1000} \quad (29)$$

Isolando o termo, temos que:

$$R_{t\ 45} = 6,5015 \Omega/km$$

No cálculo da queda de tensão percentual, realizando a troca dos termos na fórmula (30), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (I_{projeto} \times \frac{I_P}{I_N}) \times (R_{t\ 45} \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}}) \times L}{V} \times 100 \quad (30)$$

Substituindo os valores na fórmula (31), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (18,50 \times 8,2) \times (6,5015 \times 0,3 + 0,12 \times \sqrt{1 - 0,3^2}) \times 0,05}{380} \times 100 \quad (31)$$

Obtemos o resultado:

$$\Delta V\% = 7,139 \%$$

Como observado, a queda de tensão obtida foi novamente maior que os 4% máximos estipulados anteriormente.

Recalculando para a seção comercial superior seguinte, ou seja 6,0 mm², em que o valor da resistência elétrica à 20 °C é $R_{CA\ 20} = 3,95 \Omega/km$ e a reatância indutiva é $X_L = 0,11 \Omega/km$:

Então, na fórmula (32):

$$3,95 = R_{t\ 45} \times \frac{254,5}{234,5 + 45} \times \frac{1000}{1000} \quad (32)$$

Isolando o termo, temos que:

$$R_{t\ 45} = 4,3380 \Omega/km$$

No cálculo da queda de tensão percentual, realizando a troca dos termos, na fórmula (33) temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (I_{projeto} \times \frac{I_P}{I_N}) \times (R_{t\ 45} \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}}) \times L}{V} \times 100 \quad (33)$$

Substituindo os valores, na equação (34), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (18,50 \times 8,2) \times (4,3380 \times 0,3 + 0,11 \times \sqrt{1 - 0,3^2}) \times 0,05}{380} \times 100 \quad (34)$$

Obtemos o resultado:

$$\Delta V\% = 4,8621 \%$$

Como observado, a queda de tensão obtida foi novamente maior que os 4% máximos estipulados anteriormente.

Recalculando para a seção comercial superior seguinte, ou seja 10,0 mm², em que o valor da resistência elétrica à 20 °C é $R_{CA\ 20} = 2,29 \Omega/km$ e a reatância indutiva é $X_L = 0,10 \Omega/km$:

Então, na equação (25), temos que:

$$2,29 = R_{t\ 45} \times \frac{254,5}{234,5 + 45} \times \frac{1000}{1000} \quad (35)$$

Isolando o termo, temos que:

$$R_{t\ 45} = 2,5150 \Omega/km$$

No cálculo da queda de tensão percentual, realizando a troca dos termos, na fórmula (36), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (I_{projeto} \times \frac{I_P}{I_N}) \times (R_{t\ 45} \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}}) \times L}{V} \times 100 \quad (36)$$

Substituindo os valores na fórmula (37), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (18,50 \times 8,2) \times (2,5150 \times 0,3 + 0,10 \times \sqrt{1 - 0,3^2}) \times 0,05}{380} \times 100 \quad (37)$$

Obtemos o resultado:

$$\Delta V\% = 2,9383 \%$$

Logo, a seção mínima para este método utilizando a mencionada marca e modelo do cabo é:

$$S_C = 10,0 \text{ mm}^2$$

2.2.2. Cabos isolados em EPR/HEPR

Segue o dimensionamento do circuito elétrico para cabos elétricos isolados em EPR/HEPR:

2.2.2.1. Método da seção mínima – Cabos isolados em EPR/HEPR

O circuito em questão é do tipo instalação fixa em geral, com condutores e cabos de cobre e isolados, para um circuito de força. Dessa forma, de acordo com a Tabela 47 da ABNT NBR 5410, a seção mínima do condutor deve ser de:

$$S_{Forno\ Secao\ Minima\ EPR} = 2,5\ mm^2$$

2.2.2.2. Método da capacidade de condução da corrente – Cabos isolados em EPR/HEPR

Nesta seção será realizado o dimensionamento dos cabos isolados em EPR/HEPR pelo método da capacidade de condução de corrente. Para este método é considerado alguns parâmetros como o fator de correção de temperatura ambiente (F_{CT}) e o fator de agrupamento de cabos (F_{AC}) – que não será levado em conta nesse caso fictício, pois será considerado que não haverá agrupamento de cabos de diferentes circuitos, ou seja, as eletrocalhas serão exclusivas para o circuito em questão.

I) Fator de correção da temperatura ambiente (F_{CT})

Conforme visto anteriormente, a temperatura ambiente afeta a capacidade de condução de corrente dos cabos elétricos.

A NBR 5410, em sua Tabela 40, traz uma tabela em que são mostrados os fatores de correção de capacidade de condução de corrente dos cabos que devem ser aplicados para quando a temperatura ambiente for diferente de 30 °C ou quando a temperatura do solo for diferente de 20 °C (para linhas enterradas).

Com base na temperatura ambiente estimada nesse local, indicadas na monografia deste trabalho, foi adotado o seguinte fator de correção de temperatura ambiente, tendo como base a Tabela 40 da NBR 5410:

- Fator de correção de temperatura ambiente para cabos isolados em EPR ou XLPE:

$$F_{CT\ EPR\ forno} = 0,87$$

II) Dimensionamento pelo método da capacidade de condução da corrente

A corrente de projeto (I_B) considerada será a corrente no fator de serviço $I_{FS} = 18,50\ A$.

Segundo a Tabela 33 da NBR 5410, esse tipo de linha elétrica corresponde ao método E (para cabo multipolar) ou F (para cabos unipolares). Será considerado o uso do método E, pois os cabos são multipolares.

O motor em questão tem sua alimentação trifásica de 380V realizada por meio de um cabo multipolar com três condutores carregados.

As capacidades de condução de corrente para cada seção nominal de cabo são mostradas na NBR 5410, na Tabela 39 - Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência E, F e G. De acordo com a tabela, levando em consideração o fator de correção da temperatura ambiente para os cabos isolados em XLPE/EPR, percebe-se que o cabo de seção 1,5 mm² suportaria uma corrente de 23 A em uma temperatura ambiente de 30 °C, porém na temperatura de 45 °C verificada no ambiente, este mesmo cabo suporta uma corrente de apenas 20,01 A, maior que a corrente de projeto.

Dessa forma, através do método da capacidade de condução de corrente, obtém-se que a seção do cabo é de:

$$S_{FornoCapCondCorrente_{EPR}} = 1,5 \text{ mm}^2$$

2.2.2.3. Método da queda de tensão em regime permanente – Cabos isolados em EPR/HEPR

Segundo a fórmula (1) apresentada anteriormente, tem-se que:

$$S_C = \frac{100 \times \sqrt{3} \times \rho \times \sum(L_C \times I_C)}{\Delta V_C \times V_{ff}} \quad (1)$$

Substituindo os valores, na fórmula (38):

$$S_C = \frac{100 \times \sqrt{3} \times \frac{1}{56} \times \sum(50 \times 18,50)}{4 \times 380} \quad (38)$$

O valor da seção mínima encontrado foi: $S_C = 1,8822 \text{ mm}^2$.

Considerando o cabo com área de seção nominal ligeiramente superior:

$$S_C = 2,5 \text{ mm}^2$$

2.2.2.4. Método da queda de tensão na partida do motor – Cabos isolados em EPR/HEPR

Segundo a fórmula (2) apresentada anteriormente para este método, mostrada a seguir:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times I_{partida} \times (R \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sin \varphi_{partida}) \times L}{V} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

- $\Delta V\%$: Queda de tensão percentual (% V);
- $I_{partida}$: Corrente de partida (A), dada por: $I_{partida} = I_{projeto} \times k$, em que $k = I_P/I_N$
- R : Resistência elétrica do cabo (Ω/km);
- $\cos \varphi_{partida}$: Fator de potência na partida do motor, também chamado de fator de potência com rotor bloqueado;
- $\sin \varphi_{partida} = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}}$;
- L : Comprimento da linha (km);
- V : Tensão de linha (V).

A NBR 5410 (2004, p. 155) diz que “para cálculo da queda de tensão, o fator de potência do motor com rotor bloqueado pode ser considerado igual a 0,3”.

Segundo a Prysmian Cabos e Sistemas do Brasil S.A (2022, p. 33), “os valores de resistências elétricas e reatâncias indutivas indicados nas tabelas a seguir destinam-se a cálculos de circuitos elétricos e representam as impedâncias de sequência positiva ou negativa do cabo: $Z = R_{ca} + jX_L$ ” e são apresentados na figura 10.

Foi considerado, inicialmente, o cabo multipolar da fabricante Prysmian, linha GSette Easy, de área de seção igual a $2,50 \text{ mm}^2$, cujo valor da resistência elétrica à 20°C é $R_{CA\ 20} = 10,21 \Omega/km$ e a reatância indutiva é $X_L = 0,11 \Omega/km$.

Figura 10 – Resistências elétricas e reatâncias indutivas – Prysmian GSette Easy e Afumex Flex

Seção nominal (mm ²)										
	s = 2,0		s = 13 cm		s = 20 cm					
	R _{ca} (Ω/km)	X _L (Ω/km)	R _{ca} (Ω/km)	X _L (Ω/km)	R _{ca} (Ω/km)	X _L (Ω/km)	R _{ca} (Ω/km)	X _L (Ω/km)	R _{ca} (Ω/km)	X _L (Ω/km)
1,5	17,00	0,22	17,00	0,42	17,00	0,45	17,00	0,15	17,00	0,12
2,5	10,10	0,21	10,20	0,40	10,20	0,44	10,20	0,14	10,20	0,11
4	6,31	0,20	6,31	0,39	6,31	0,42	6,31	0,13	6,31	0,10
6	4,21	0,19	4,21	0,37	4,21	0,40	4,21	0,12	4,21	0,10
10	2,44	0,19	2,44	0,36	2,44	0,39	2,44	0,12	2,44	0,10
16	1,54	0,10	1,54	0,34	1,54	0,37	1,54	0,11	1,54	0,09
25	1,00	0,10	1,00	0,32	1,00	0,35	1,00	0,11	1,00	0,09
35	0,71	0,10	0,71	0,31	0,71	0,34	0,71	0,11	0,71	0,09
50	0,49	0,17	0,49	0,30	0,49	0,33	0,49	0,10	0,49	0,09
70	0,35	0,17	0,35	0,29	0,35	0,32	0,35	0,10	0,35	0,09
95	0,26	0,17	0,26	0,27	0,26	0,30	0,26	0,10	0,27	0,08
120	0,21	0,17	0,21	0,26	0,21	0,30	0,21	0,10	0,21	0,08
150	0,17	0,17	0,17	0,26	0,17	0,29	0,17	0,10	0,17	0,08
105	0,14	0,17	0,14	0,25	0,14	0,20	0,14	0,10	0,14	0,09
240	0,10	0,16	0,10	0,24	0,10	0,27	0,11	0,09	0,11	0,08
300	0,08	0,16	0,08	0,23	0,08	0,26	0,09	0,09	-	-
400	0,06	0,16	0,06	0,22	0,06	0,25	0,07	0,09	-	-
500	0,05	0,16	0,05	0,21	0,05	0,24	0,06	0,09	-	-

Valores válidos para todos os tipos de instalação, exceto quando instalados em conduto metálico fechado ferromagnético.

Fonte: Prysmian Cabos e Sistemas do Brasil S.A (2022, p. 37)

A NBR NM-280 (2002, p. 7) estabelece que é necessário fazer a correção da resistência elétrica do cabo para temperaturas diferentes de 20 °C, conforme a fórmula (3) a seguir:

$$R_{20} = R_t \times k_t \times \frac{1000}{L} \quad (3)$$

Onde:

- R_{20} : Resistência a 20°C (Ω/km);
- R_t : Resistência elétrica medida de L metros de cabo ou cordão flexível a t °C (Ω);
- k_t : Fator de correção de temperatura para a resistência elétrica, à temperatura de t °C;
- L : Comprimento do cabo ou cordão flexível (km);
- t : Temperatura do condutor, no momento da medição (°C).

O k_t , para condutores de cobre, é dado pela fórmula (4), de acordo com a NBR NM-280:

$$k_{t cu} = \frac{254,5}{234,5 + t} \quad (4)$$

Para a temperatura de 45 °C se faz necessário a correção da resistência elétrica do cabo. A correção é calculada a seguir, para 1 km ($L = 1000$ m), de forma a manter a resistência elétrica por km, conforme já apresentado anteriormente na fórmula (5):

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

Substituindo os valores e realizando o cálculo conforme a fórmula (39):

$$10,21 = R_{t\ 45} \times \frac{254,5}{234,5 + 45} \times \frac{1000}{1000} \quad (39)$$

Isolando o termo, temos que:

$$R_{t\ 45} = 11,2129 \Omega/km$$

No cálculo da queda de tensão percentual, realizando a troca dos termos, na fórmula (40), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (I_{projeto} \times \frac{I_P}{I_N}) \times (R_{t\ 45} \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}}) \times L}{V} \times 100 \quad (40)$$

Substituindo os valores na fórmula (41), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (18,50 \times 8,2) \times (11,2129 \times 0,3 + 0,11 \times \sqrt{1 - 0,3^2}) \times 0,05}{380} \times 100 \quad (41)$$

Obtemos o resultado:

$$\Delta V\% = 11,9926 \%$$

Como observado, a queda de tensão obtida foi menor que os 4% máximos estipulados anteriormente.

Recalculando para a seção comercial superior seguinte, ou seja 4,0 mm², em que o valor da resistência elétrica à 20 °C é $R_{CA\ 20} = 6,31 \Omega/km$ e a reatância indutiva é $X_L = 0,10 \Omega/km$:

Então, na fórmula (42), temos que:

$$6,31 = R_{t\ 45} \times \frac{254,5}{234,5 + 45} \times \frac{1000}{1000} \quad (42)$$

Isolando o termo, temos que:

$$R_{t\ 45} = 6,9298 \Omega/km$$

No cálculo da queda de tensão percentual, realizando a troca dos termos, na fórmula (43), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (I_{projeto} \times \frac{I_P}{I_N}) \times (R_{t\ 45} \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}}) \times L}{V} \times 100 \quad (43)$$

Substituindo os valores, na fórmula (44), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (18,50 \times 8,2) \times (6,9298 \times 0,3 + 0,10 \times \sqrt{1 - 0,3^2}) \times 0,05}{380} \times 100 \quad (44)$$

Obtemos o resultado:

$$\Delta V\% = 7,5172 \%$$

Como observado, a queda de tensão obtida foi novamente maior que os 4% máximos estipulados anteriormente.

Recalculando para a seção comercial superior seguinte, ou seja 6,0 mm², em que o valor da resistência elétrica à 20 °C é $R_{CA\ 20} = 4,21 \Omega/km$ e a reatância indutiva é $X_L = 0,10 \Omega/km$:

Então, na fórmula (45), temos que:

$$4,21 = R_{t\ 45} \times \frac{254,5}{234,5 + 45} \times \frac{1000}{1000} \quad (45)$$

Isolando o termo, temos que:

$$R_{t\ 45} = 4,6236 \Omega/km$$

No cálculo da queda de tensão percentual, realizando a troca dos termos, na fórmula (46), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (I_{projeto} \times \frac{I_P}{I_N}) \times (R_{t\ 45} \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}}) \times L}{V} \times 100 \quad (45)$$

Substituindo os valores, na fórmula (46), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (18,50 \times 8,2) \times (4,6236 \times 0,3 + 0,10 \times \sqrt{1 - 0,3^2}) \times 0,05}{380} \times 100 \quad (46)$$

Obtemos o resultado:

$$\Delta V\% = 5,1253 \%$$

Como observado, a queda de tensão obtida foi novamente maior que os 4% máximos estipulados anteriormente.

Recalculando para a seção comercial superior seguinte, ou seja 10,0 mm², em que o valor da resistência elétrica à 20 °C é $R_{CA\ 20} = 2,44 \Omega/km$ e a reatância indutiva é $X_L = 0,10 \Omega/km$:

Então, na fórmula (47), temos que:

$$2,44 = R_{t\ 45} \times \frac{254,5}{234,5 + 45} \times \frac{1000}{1000} \quad (47)$$

Isolando o termo, temos que:

$$R_{t\ 45} = 2,6797 \Omega/km$$

No cálculo da queda de tensão percentual, realizando a troca dos termos, na fórmula (48), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (I_{projeto} \times \frac{I_P}{I_N}) \times (R_{t\ 45} \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}}) \times L}{V} \times 100 \quad (48)$$

Substituindo os valores, na fórmula (49), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (18,50 \times 8,2) \times (2,6797 \times 0,3 + 0,10 \times \sqrt{1 - 0,3^2}) \times 0,05}{380} \times 100 \quad (49)$$

Obtemos o resultado:

$$\Delta V\% = 3,1091 \%$$

Logo, a seção mínima para este método utilizando a mencionada marca e modelo do cabo é:

$$S_C = 10,0 \text{ mm}^2$$

2.2.3. Cabos isolados em XLPE

Segue o dimensionamento do circuito elétrico para cabos elétricos isolados em XLPE:

2.2.3.1. Método da seção mínima – Cabos isolados em XLPE

O circuito em questão é do tipo instalação fixa em geral, com condutores e cabos de cobre e isolados, para um circuito de força. Dessa forma, de acordo com a Tabela 47 da ABNT NBR 5410, a seção mínima do condutor deve ser de:

$$S_{Forno\ Secao\ Minima\ XLPE} = 2,5\ mm^2$$

2.2.3.2. Método da capacidade de condução da corrente – Cabos isolados em XLPE

Nesta seção será realizado o dimensionamento dos cabos isolados em XLPE pelo método da capacidade de condução de corrente. Para este método é considerado alguns parâmetros como o fator de correção de temperatura ambiente (F_{CT}) e o fator de agrupamento de cabos (F_{AC}) – que não será levado em conta nesse caso fictício, pois será considerado que não haverá agrupamento de cabos de diferentes circuitos, ou seja, as eletrocalhas serão exclusivas para o circuito em questão.

I) Fator de correção da temperatura ambiente (F_{CT})

Conforme visto anteriormente, a temperatura ambiente afeta a capacidade de condução de corrente dos cabos elétricos.

A NBR 5410, em sua Tabela 40, traz uma tabela em que são mostrados os fatores de correção de capacidade de condução de corrente dos cabos que devem ser aplicados para quando a temperatura ambiente for diferente de 30 °C ou quando a temperatura do solo for diferente de 20 °C (para linhas enterradas).

Com base na temperatura ambiente estimada nesse local, indicadas na monografia deste trabalho, foi adotado o seguinte fator de correção de temperatura ambiente, tendo como base a Tabela 40 da NBR 5410:

- Fator de correção de temperatura ambiente para cabos isolados em EPR ou XLPE:

$$F_{CT\ EPR/XLPE\ forno} = 0,87$$

II) Dimensionamento pelo método da capacidade de condução da corrente

A corrente de projeto (I_B) considerada será a corrente no fator de serviço $I_{FS} = 18,50\ A$.

Segundo a Tabela 33 da NBR 5410, esse tipo de linha elétrica corresponde ao método E (para cabo multipolar) ou F (para cabos unipolares). Será considerado o uso do método E, pois os cabos são multipolares.

O motor em questão tem sua alimentação trifásica de 380V realizada por meio de um cabo multipolar com três condutores carregados.

As capacidades de condução de corrente para cada seção nominal de cabo são mostradas na NBR 5410, na Tabela 39 - Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência E, F e G. De acordo com a tabela, levando em consideração o fator de correção da temperatura ambiente para os cabos isolados em XLPE/EPR, percebe-se que o cabo de seção 1,5 mm² suportaria uma corrente de 23 A em uma temperatura ambiente de 30 °C, porém na temperatura de 45 °C verificada no ambiente, este mesmo cabo suporta uma corrente de apenas 20,01 A, maior que a corrente de projeto.

Dessa forma, através do método da capacidade de condução de corrente, obtém-se que a seção do cabo:

$$S_{\text{FornoCapCondCorrente}_{\text{XLPE}}} = 1,5 \text{ mm}^2$$

2.2.3.3. Método da queda de tensão em regime permanente – Cabos isolados em XLPE

Segundo a fórmula (1) apresentada anteriormente, tem-se que:

$$S_C = \frac{100 \times \sqrt{3} \times \rho \times \sum(L_C \times I_C)}{\Delta V_C \times V_{ff}} \quad (1)$$

Substituindo os valores na fórmula (50), temos:

$$S_C = \frac{100 \times \sqrt{3} \times \frac{1}{56} \times \sum(50 \times 18,50)}{4 \times 380} \quad (50)$$

O valor da seção mínima encontrado foi: $S_C = 1,8822 \text{ mm}^2$.

Considerando o cabo com área de seção nominal ligeiramente superior:

$$S_C = 2,5 \text{ mm}^2$$

2.2.3.4. Método da queda de tensão na partida do motor – Cabos isolados em XLPE

Segundo a fórmula (2) apresentada anteriormente para este método, mostrada a seguir:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times I_{partida} \times (R \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sin \varphi_{partida}) \times L}{V} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

- $\Delta V\%$: Queda de tensão percentual (% V);
- $I_{partida}$: Corrente de partida (A), dada por: $I_{partida} = I_{projeto} \times k$, em que $k = I_P/I_N$
- R : Resistência elétrica do cabo (Ω/km);
- $\cos \varphi_{partida}$: Fator de potência na partida do motor, também chamado de fator de potência com rotor bloqueado;
- $\sin \varphi_{partida} = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}}$;
- L : Comprimento da linha (km);
- V : Tensão de linha (V).

A NBR 5410 (2004, p. 155) diz que “para cálculo da queda de tensão, o fator de potência do motor com rotor bloqueado pode ser considerado igual a 0,3”.

Segundo a Prysmian Cabos e Sistemas do Brasil S.A (2022, p. 33), “os valores de resistências elétricas e reatâncias indutivas indicados nas tabelas a seguir destinam-se a cálculos de circuitos elétricos e representam as impedâncias de sequência positiva ou negativa do cabo: $Z = R_{ca} + jX_L$ ” e são apresentados na figura 11.

Foi considerado, inicialmente, o cabo multipolar da fabricante Prysmian, linha Voltenax, de área de seção igual a $2,50 \text{ mm}^2$, cujo valor da resistência elétrica à 20°C é $R_{CA\ 20} = 9,45 \Omega/km$ e a reatância indutiva é $X_L = 0,11 \Omega/km$.

Figura 11 – Resistências elétricas e reatâncias indutivas – Prysmian Voltenax (cobre) e Voltalene (cobre)

Seção nominal (mm ²)								 Ver Nota (1)						
	s = 2 D		s = 13 cm		s = 20 cm			Rca	X _L	Rca	X _L	Rca	X _L	
	(mm ²)	(Ω/km)	(Ω/km)	(Ω/km)	(Ω/km)	(Ω/km)		(Ω/km)	(Ω/km)	(Ω/km)	(Ω/km)	(Ω/km)	(Ω/km)	
1,5	15,40	0,17	15,40	0,42	15,40	0,45	15,40	0,15	15,40	0,12	15,40	0,44		
2,5	9,45	0,16	9,45	0,40	9,45	0,44	9,45	0,14	9,45	0,11	9,45	0,43		
4	5,88	0,15	5,88	0,39	5,88	0,42	5,88	0,13	5,88	0,10	5,88	0,41		
6	3,93	0,14	3,93	0,37	3,93	0,40	3,93	0,12	3,93	0,10	3,93	0,39		
10	2,33	0,14	2,33	0,36	2,33	0,39	2,33	0,12	2,33	0,10	2,33	0,38		
16	1,47	0,13	1,47	0,34	1,47	0,37	1,47	0,11	1,47	0,09	1,47	0,36		
25	0,93	0,13	0,93	0,32	0,93	0,35	0,93	0,11	0,93	0,09	0,93	0,35		
35	0,67	0,12	0,67	0,31	0,67	0,34	0,67	0,11	0,67	0,09	0,67	0,33		
50	0,49	0,12	0,49	0,30	0,49	0,33	0,49	0,10	0,49	0,09	0,49	0,32		
70	0,34	0,12	0,34	0,29	0,34	0,32	0,34	0,10	0,34	0,09	0,34	0,31		
95	0,25	0,12	0,25	0,27	0,25	0,30	0,25	0,10	0,25	0,08	0,25	0,30		
120	0,20	0,11	0,20	0,26	0,20	0,30	0,20	0,10	0,20	0,08	0,20	0,29		
150	0,16	0,11	0,16	0,26	0,16	0,29	0,16	0,10	0,16	0,08	0,16	0,28		
185	0,13	0,11	0,13	0,25	0,13	0,28	0,13	0,10	0,13	0,09	0,13	0,27		
240	0,10	0,11	0,10	0,24	0,10	0,27	0,10	0,09	0,10	0,08	0,10	0,26		
300	0,08	0,11	0,08	0,23	0,08	0,26	0,08	0,09	-	-	0,08	0,25		
400	0,07	0,11	0,06	0,22	0,06	0,25	0,07	0,09	-	-	0,06	0,24		
500	0,05	0,11	0,05	0,21	0,05	0,24	0,05	0,09	-	-	0,05	0,23		

Nota (1): Cabo Voltenax • Valores válidos para todos os tipos de instalação, exceto quando instalados em conduto metálico fechado ferromagnético.

Fonte: Prysmian Cabos e Sistemas do Brasil S.A (2022, p. 38)

A NBR NM-280 (2002, p. 7) estabelece que é necessário fazer a correção da resistência elétrica do cabo para temperaturas diferentes de 20 °C, conforme a fórmula (3) a seguir:

$$R_{20} = R_t \times k_t \times \frac{1000}{L} \quad (3)$$

Onde:

- R_{20} : Resistência a 20°C (Ω/km);
- R_t : Resistência elétrica medida de L metros de cabo ou cordão flexível a t °C (Ω);
- k_t : Fator de correção de temperatura para a resistência elétrica, à temperatura de t °C;
- L : Comprimento do cabo ou cordão flexível (km);
- t : Temperatura do condutor, no momento da medição (°C).

O k_t , para condutores de cobre, é dado pela seguinte fórmula (4) já mostrada anteriormente, de acordo com a NBR NM-280:

$$k_{t\,cu} = \frac{254,5}{234,5 + t} \quad (4)$$

Para a temperatura de 45 °C se faz necessário a correção da resistência elétrica do cabo. A correção é calculada a seguir, para 1 km ($L = 1000$ m), de forma a manter a resistência elétrica por km, como já mostrado anteriormente na fórmula (5):

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

Substituindo os valores e realizando o cálculo, na fórmula (51):

$$9,45 = R_{t\ 45} \times \frac{254,5}{234,5 + 45} \times \frac{1000}{1000} \quad (51)$$

Isolando o termo, temos que:

$$R_{t\ 45} = 10,3783 \Omega/km$$

No cálculo da queda de tensão percentual, realizando a troca dos termos, na fórmula (52), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times \left(I_{projeto} \times \frac{I_P}{I_N} \right) \times \left(R_{t\ 45} \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}} \right) \times L}{V} \times 100 \quad (52)$$

Substituindo os valores, na equação (53), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (18,50 \times 8,2) \times \left(10,3783 \times 0,3 + 0,11 \times \sqrt{1 - 0,3^2} \right) \times 0,05}{380} \times 100 \quad (53)$$

Obtemos o resultado:

$$\Delta V\% = 11,1269 \%$$

Como observado, a queda de tensão obtida foi menor que os 4% máximos estipulados anteriormente.

Recalculando para a seção comercial superior seguinte, ou seja 4,0 mm², em que o valor da resistência elétrica à 20 °C é $R_{CA\ 20} = 5,88 \Omega/km$ e a reatância indutiva é $X_L = 0,10 \Omega/km$:

Então, na fórmula (54), temos que:

$$5,88 = R_{t\ 45} \times \frac{254,5}{234,5 + 45} \times \frac{1000}{1000} \quad (54)$$

Isolando o termo, temos que:

$$R_{t\ 45} = 6,4576 \Omega/km$$

No cálculo da queda de tensão percentual, realizando a troca dos termos, na fórmula (55), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (I_{projeto} \times \frac{I_P}{I_N}) \times (R_{t\ 45} \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}}) \times L}{V} \times 100 \quad (55)$$

Substituindo os valores, na fórmula (56), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (18,50 \times 8,2) \times (6,4576 \times 0,3 + 0,10 \times \sqrt{1 - 0,3^2}) \times 0,05}{380} \times 100 \quad (56)$$

Obtemos o resultado:

$$\Delta V\% = 7,0275 \%$$

Como observado, a queda de tensão obtida foi novamente maior que os 4% máximos estipulados anteriormente.

Recalculando para a seção comercial superior seguinte, ou seja 6,0 mm², em que o valor da resistência elétrica à 20 °C é $R_{CA\ 20} = 3,93 \Omega/km$ e a reatância indutiva é $X_L = 0,10 \Omega/km$:

Então, na fórmula (57), temos que:

$$3,93 = R_{t\ 45} \times \frac{254,5}{234,5 + 45} \times \frac{1000}{1000} \quad (57)$$

Isolando o termo, temos que:

$$R_{t\ 45} = 4,3161 \Omega/km$$

No cálculo da queda de tensão percentual, realizando a troca dos termos, conforme mostra a fórmula (58), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (I_{projeto} \times \frac{I_P}{I_N}) \times (R_{t\ 45} \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}}) \times L}{V} \times 100 \quad (58)$$

Substituindo os valores, como mostra na fórmula (59), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (18,50 \times 8,2) \times (4,3161 \times 0,3 + 0,10 \times \sqrt{1 - 0,3^2}) \times 0,05}{380} \times 100 \quad (59)$$

Obtemos o resultado:

$$\Delta V\% = 4,8064 \%$$

Como observado, a queda de tensão obtida foi novamente maior que os 4% máximos estipulados anteriormente.

Recalculando para a seção comercial superior seguinte, ou seja 10,0 mm², em que o valor da resistência elétrica à 20 °C é $R_{CA\ 20} = 2,33 \Omega/km$ e a reatância indutiva é $X_L = 0,10 \Omega/km$:

Então, na fórmula (60), temos que:

$$2,33 = R_{t\ 45} \times \frac{254,5}{234,5 + 45} \times \frac{1000}{1000} \quad (60)$$

Isolando o termo, temos que:

$$R_{t\ 45} = 2,5589 \Omega/km$$

No cálculo da queda de tensão percentual, como mostra a fórmula (61), realizando a troca dos termos, temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (I_{projeto} \times \frac{I_P}{I_N}) \times (R_{t\ 45} \times \cos \varphi_{partida} + X \times \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{partida}}) \times L}{V} \times 100 \quad (61)$$

Substituindo os valores, na fórmula (62), temos que:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times (18,50 \times 8,2) \times (2,5589 \times 0,3 + 0,10 \times \sqrt{1 - 0,3^2}) \times 0,05}{380} \times 100 \quad (62)$$

Obtemos o resultado:

$$\Delta V\% = 2,9838 \%$$

Logo, a seção mínima para este método utilizando a mencionada marca e modelo do cabo é:

$$S_C = 10,0 \text{ mm}^2$$

2.3. Resumo – Dimensionamento de cabos

Na tabela 4 está o resumo do dimensionamento de cabos elétricos dos motores em cada setor estudado, para cada tipo de isolação de cabo usada e para cada método de cálculo realizado:

Tabela 4 – Dimensionamento de cabos por setor, tipo de isolação e métodos de cálculo

Setor	Método de cálculo	Dimensionamento pelo tipo de isolação		
		PVC	EPR	XLPE
Secadora	Seção mínima	2,5 mm ²	2,5 mm ²	2,5 mm ²
	Cap. cond. corrente	Não aplicável	2,5 mm ²	2,5 mm ²
	Queda V regime perm.	Não aplicável	1,5 mm ²	1,5 mm ²
	Queda V partida motor	Não aplicável	6,0 mm²	4,0 mm²
Forno	Seção mínima	2,5 mm ²	2,5 mm ²	2,5 mm ²
	Cap. cond. corrente	2,5 mm ²	1,5 mm ²	1,5 mm ²
	Queda V regime perm.	2,5 mm ²	2,5 mm ²	2,5 mm ²
	Queda V partida motor	10,0 mm²	10,0 mm²	10,0 mm²

Fonte: Autoria própria (2026)

Considerando a maior área de seção dentre os métodos de cálculo para cada um dos setores e tipo de isolação, na tabela 5, tem-se que:

Tabela 5 – Resumo do dimensionamento de cabos por setor e tipo de isolação

Setor	PVC	EPR	XLPE
Secadora	Não aplicável	6,0 mm ²	4,0 mm ²
Forno	10,0 mm ²	10,0 mm ²	10,0 mm ²

Fonte: Autoria própria (2026)

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 273 p. Disponível em: <https://www.normas.com.br/>. Acesso em: 6 fev. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM-280**: Condutores de cabos isolados (IEC 60228, MOD). 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 31 p. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/qdownload/nbr-nm-280-pdf-free.html>. Acesso em: 07 set. 2025.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**: De acordo com a Norma Brasileira NBR 5419:2015. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017. 1292 p. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/instalaoes-eleticas-industriais-9-ed-mamede-pdf-free.html>. Acesso em: 10 mar. 2025.

PRYSMIAN CABOS E SISTEMAS DO BRASIL S.A (Sorocaba / SP). **Guia de dimensionamento de cabos para baixa tensão**: De acordo com a NBR 5410. Sorocaba / SP: Prysmian Group, 2022. Versão 9/2020. Disponível em: https://br.prysmian.com/sites/default/files/atoms/files/Guia_de_Dimensionamento-Baixa_Tensao_Rev10.pdf. Acesso em: 6 set. 2025.

SCHNEIDER ELECTRIC (França). **Calculation of voltage drop in steady load conditions**. França: Schneider Electric, 22 jun. 2022. Electrical Installation Wiki. Disponível em: https://www.electrical-installation.org/enwiki/Calculation_of_voltage_drop_in_steady_load_conditions. Acesso em: 14 set. 2025.

SUCATAS INDAIAL LTDA (Indaial / SC). **Motor Elétrico Trifásico 5CV (3,7kW) 1725RPM 220/380V Carcaça 100L IP55 WEG W22 IR2**. 2025. Disponível em: <https://www.sucatasindaial.com.br/motores-e-bombas/motor-weg-5cv-4-polos-220380-1740-rpm>. Acesso em: 11 out. 2025.

SUCATAS INDAIAL LTDA (Indaial / SC). **Motor Elétrico Trifásico 10CV 1765RPM 380/660V Carcaça 132S IP55 WEG W22 Premium IR3**. Indaial / SC, 2025. Disponível em: <https://www.sucatasindaial.com.br/motores-e-bombas/motor-weg-10cv-4-polos-380660v-1765-rpm>. Acesso em: 03 nov. 2025.