



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO HERMÍNIO OMETTO NÚCLEO  
DE ENGENHARIA  
ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Projetos de sistemas elétricos  
Projeto elétrico de uma indústria de papel**

Nome completo	RA
André Rodrigues Sanches	109177
Gabriel Henrique Leme	109551
Gustavo Ferreira	110353
Matheus de Souza Cardoso	108925

Araras

**Junho 2025**

## 1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica tornou-se fundamental na vida das pessoas. Só no Brasil, segundo o IBGE, 99,8% das residências brasileiras possuem acesso à energia elétrica, consequentemente, a busca por profissionais que executam serviços de instalações elétricas ficaram cada vez maiores. As instalações elétricas são compostas por diversos elementos, que vão desde condutores básicos em qualquer instalação até dispositivos de automação, aplicados em instalações mais complexas. O conhecimento desses elementos e de sua forma correta de utilização é necessário aos projetistas para garantir instalações confortáveis e seguras a seus usuários.

A segurança das instalações elétricas é um aspecto fundamental e está previsto em algumas normas brasileiras. As normas existem para padronizar, trazer igualdade às instalações elétricas e melhorar o âmbito de qualidade das mesmas e foi criada justamente para garantir a segurança de equipamentos e pessoas (SILVA et al., 2019)

Como base, utilizamos da NBR5410:2004, que existe para regulamentar a execução dos projetos elétricos em baixa tensão, ela surgiu pela preocupação com este tipo de instalação e traz em suas especificações as justas explicações e vantagens quanto as instalações prediais que atendem e seguem regularmente a norma. A mesma se aplica principalmente às instalações elétricas de edificações, qualquer que seja seu uso (residencial, comercial, público, industrial, de serviços, agropecuário, hortigranjeiro etc.), incluindo as pré-fabricadas, sejam instalações novas ou reformas

É imprescindível ter certeza de realizar o processo de dimensionamento e execução de instalação elétrica de maneira correta e com segurança para evitar futuros problemas, pois estes processos uma vez feitos de maneira imprudente podem ocasionar diversos transtornos durante e após construção (PORTE, 2018).

Portanto, este relatório detalha o projeto elétrico de uma pequena indústria de papel, estruturada em três áreas produtivas distintas. O relatório visa abranger desde o dimensionamento de condutores e dispositivos de proteção até a análise de curtos-circuitos e o projeto luminotécnico de uma das áreas. A relevância desse relatório simulando o real retrata para a Engenharia de Segurança do Trabalho a minimização de riscos de acidentes e falhas operacionais, promovendo um ambiente de trabalho seguro, além disso, para a instituição representa a aplicação prática e integrada de conhecimentos teóricos estudados em todo decorrer do curso.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Dados iniciais do cliente

Como base para o início do projeto do cliente é fundamental o entendimento das áreas e dados solicitados pelo mesmo. Abaixo segue tais descrições:

Figura 1 - Distribuição de setores dentro da indústria de papel

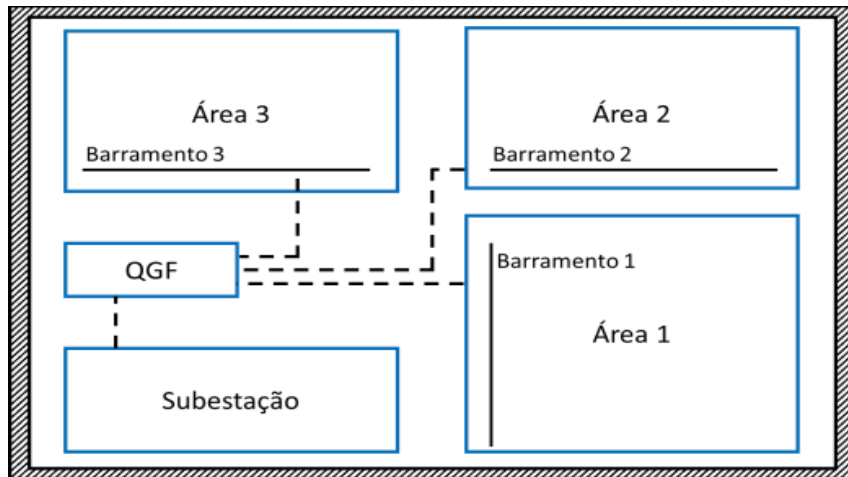


Figura 2 - Dados do cliente

TABELA DE DADOS DO CLIENTE			
Dados	Siglas	Valores	Unidade
Tensão nominal primária	$V_{np}$	13,8	Kv
Tensão nominal secundária	$V_{ns}$	380	V
Impedância de sequência positiva do sistema de suprimento	$Z_{ps}$	$(0,1 + j0,5)$	Pu
Impedância de sequência zero do sistema de suprimento	$Z_{zs}$	$(0,2 + j0,8)$	Pu
Comprimento do circuito TR-QGF	$TR-QGF$	10	Metros
Comprimento do circuito do QGF-Área 1	$QGF-Área 1$	25	Metros
Comprimento do circuito do QGF-Área 2	$QGF-Área 2$	35	Metros
Comprimento do circuito do QGF-Área 3	$QGF-Área 3$	30	Metros
Todas as cargas de cada setor estão distantes de 5m do seu respectivo barramento; ☐ Importante: Desconsidere os comprimentos dos barramentos PotBase =100MVA			

## 2.2 Motores

A partir do conhecimento dos dados iniciais do cliente, é começado o dimensionamento dos equipamentos do projeto.

O grupo responsável pelo projeto, buscou adequar o melhor modelo de motor para a instalação na planta industrial. O modelo escolhido para as operações é a linha de motores trifásica de 4 polos W22 IR3 Premium. De acordo com o site do fornecedor, a linha W22 IR3 Premium atende aos níveis de rendimento especificados na Portaria Interministerial n.º 1, de 29 de junho de 2017, que determina o nível mínimo de rendimento em IR3 (faixa de potência de 0,16 a 500 Cv, de 2 a 8 polos), válido para todos os motores comercializados. Também atendem à norma ABNT NBR 17094 e às legislações anteriores." (WEG, 2022, p. 3). Portanto, a linha de modelos atende adequadamente a potência necessária na planta industrial.

Figura 3 - Motores WEG



Fonte: WEG

Com os devidos modelos de motores escolhidos, os dados técnicos dos mesmos fornecidos pelo fabricante via site, serão utilizados para o preenchimento da tabela de carga inicial, tendo em vista que os motores trabalharam com fator de potência e rendimento em plena carga. Abaixo segue os dados obtidos:

Quadro 1 - Dados de Carga Inicial

Setor	Carga	Potência mecânica (cv)	Fator de potência	Rendimento	Potência ativa (kW)	Potência reativa (kVAr)	Potência aparente (kVA)
1	Motor 1	75	0,83	0,958	55	30,68	66,27
	Motor 2	100	0,82	0,962	75	42,93	91,46
	Motor 3	30	0,81	0,943	22	12,90	27,16
	Motor 4	150	0,87	0,965	110	54,23	126,44
2	Motor 5	15	0,8	0,931	11	6,60	13,75
	Motor 6	75	0,83	0,958	55	30,68	66,27
	Motor 7	50	0,81	0,954	37	21,70	45,68
3	Auxiliar	-	0,92	-	90	35,27	97,83
	Auxiliar	-	0,92	-	75	29,39	81,52
	Aquecimento 1	-	1	-	35	0	35
	Aquecimento 2	-	1	-	25	0	25
	Aquecimento 3	-	1	-	40	0	40

Fonte: Autoria do grupo

### 2.3. Condutores


Para o cálculo do dimensionamento dos condutores, foi utilizado o método da ampacidade, que consiste no critério da capacidade de condução de corrente determinando a menor seção nominal de forma que a corrente que deve circular pelo circuito, a chamada corrente de projeto, não provoque um aquecimento excessivo nos condutores. Isto é, não leve os condutores a uma temperatura acima de 70° C para os fios e cabos com isolamento de PVC e de 90° C para os isolados com EPR e XLPE.

O grupo responsável seguiu etapas para o dimensionamento dos condutores, levando em conta o cálculo da corrente de projeto, método de instalação, aplicação de fatores de correção apropriados (temperatura e agrupamento), correção de corrente de projeto e seleção da seção do condutor via dados do fabricante.

A NBR5410 estabelece um total de 75 métodos diferentes de instalação de condutores. Dependendo do método de instalação, maior ou menor será a capacidade de dissipação de calor gerado pela passagem da corrente elétrica e, por consequência, maior ou menor será a capacidade de condução dos condutores. O grupo responsável pelo projeto optou pelos seguintes métodos:

Para o circuito principal QGF - Método B1, Cabos unipolares ou cabo multipolar em canaleta ventilada encaixada no piso ou no solo.

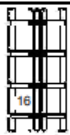
Figura 4 - Representação do método de instalação (B1)

43		Cabos unipolares ou cabo multipolar em canaleta ventilada encaixada no piso ou no solo	B1
----	---	--	----

Fonte: NBR 5410

Para os demais circuitos áreas e motores - método F (unipolar) e método E (multipolar), canaleta fechada no piso, solo ou parede.

Figura 5 - Representação do método de instalação

16		Cabos unipolares ou cabo multipolar em leito	E (multipolar) F (unipolares)
----	---	--	----------------------------------

Fonte: NBR 5410

Em relação ao fator de correção por temperatura, o grupo adotou a temperatura ambiente de 30 °C já que é a média anual da cidade de Curitiba, na qual se localiza a indústria de papel projetada. De acordo com a norma NBR 5410, para essa condição, não é necessário aplicar fator de correção à corrente de projeto, uma vez que 30 °C é considerada a temperatura de referência.

A respeito do fator de agrupamento, conforme estabelece a norma NBR 5410, quando condutores são instalados em grupos (como em eletrodutos, leitos ou bandejas compartilhadas etc.), é necessário aplicar um fator de correção à corrente de projeto, a fim de considerar a redução da dissipação térmica.

O valor do fator de agrupamento depende da quantidade de circuitos agrupados, tipo de instalação e forma de distribuição dos cabos.

Figura 6 - Fatores de correção para agrupamento de circuitos ou cabos multipolares

Item	Disposição dos cabos justapostos	Número de circuitos ou de cabos multipolares												Tabelas dos métodos de instalação
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
1	Feixe de cabos ao ar livre ou sobre superfície; cabos em condutos fechados	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	<b>métodos A a F</b>
2	Camada única sobre parede, piso, ou em bandeja não perfurada ou prateleira	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Nenhum fator de redução adicional para mais de 9 circuitos ou cabos multipolares			<b>método C</b>
3	Camada única no teto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				<b>métodos E e F</b>
4	Camada única em bandeja perfurada, horizontal ou vertical	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				
5	Camada unida em leito, suporte	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

Fonte: NBR 5410

No projeto da indústria ficou determinado as seguintes formas de agrupamento:

- Para o circuito geral QGF – 1 circuito, com FCA= 1;
- Para as áreas 1,2,3 – 3 Circuitos; com FCA = 0,82;
- Para os motores – 12 circuitos (Considerando futuras expansões); com FCA = 0,78.

Com os fatores de temperatura e agrupamento definidos, o grupo responsável pelo projeto realizou os cálculos para a escolha das secções dos cabos para todo sistema da indústria. Abaixo segue a tabela dos resultados obtidos para os dimensionamentos dos condutores.

Quadro 2 - Dados para dimensionamento das secções dos condutores

DESCRICAO	Dados das Cargas				Metodo de Instalação	FCA	FCT (30°)	Corrente de Projeto Corrigida I <sub>p</sub> (A)
	Tensao (V)	Potencia Aparente(kVA)	Fator de Potencia (FP)	Corrente de Projeto I <sub>p</sub> (A)				
CARGA GERAL QGF	380	685,35	0,92	1125,2	Canaleta fechada no piso, solo ou parede	1	1	1125,22
ÁREA 1	380	315,84	0,82	500,1	Leitos, suportes horizontais ou telas 14/16 - F E	0,82	1	609,85
ÁREA 2	380	125,69	0,92	200,2	Leitos, suportes horizontais ou telas 14/16 - F E	0,82	1	244,16
ÁREA 3	380	279,35	0,92	424,9	Leitos, suportes horizontais ou telas 14/16 - F E	0,82	1	518,21
MOTOR 1	380	66,27	0,83	105,22	Leitos, suportes horizontais ou telas 14/16 - F E	0,78	1	134,89
MOTOR 2	380	91,46	0,82	144,62	Leitos, suportes horizontais ou telas 14/16 - F E	0,78	1	185,42
MOTOR 3	380	27,16	0,81	43,81	Leitos, suportes horizontais ou telas 14/16 - F E	0,78	1	56,17
MOTOR 4	380	126,4	0,87	199,3	Leitos, suportes horizontais ou telas 14/16 - F E	0,78	1	255,52
MOTOR 5	380	13,75	0,8	22,47	Leitos, suportes horizontais ou telas 14/16 - F E	0,78	1	28,8
MOTOR 6	380	66,27	0,83	105,22	Leitos, suportes horizontais ou telas 14/16 - F E	0,78	1	134,89
MOTOR 7	380	45,68	0,81	72,53	Leitos, suportes horizontais ou telas 14/16 - F E	0,78	1	92,99
AUXILIAR	380	97,83	0,92	148,81	Leitos, suportes horizontais ou telas 14/16 - F E	0,78	1	190,78
AUXILIAR	380	81,52	0,92	124,01	Leitos, suportes horizontais ou telas 14/16 - F E	0,78	1	158,98
AQUECIMENTO 1	380	35	1	53,24	Leitos, suportes horizontais ou telas 14/16 - F E	0,78	1	68,26
AQUECIMENTO 2	380	25	1	38,03	Leitos, suportes horizontais ou telas 14/16 - F E	0,78	1	48,75
AQUECIMENTO 3	380	40	1	60,85	Leitos, suportes horizontais ou telas 14/16 - F E	0,78	1	78,01

Fonte: Autoria do grupo

A escolha final das secções dos cabos foi realizada com base nas correntes corrigidas e nas tabelas de fabricantes, assegurando segurança, eficiência e viabilidade técnica para o funcionamento contínuo e confiável do sistema. Os condutores selecionados são de cobre com isolamento em PVC, oferecendo boa performance elétrica e resistência mecânica para o ambiente industrial projetado.

Para o ponto de alimentação do QGF:

Quadro 3 - Secção condutores selecionados para a alimentação do QGF

Sector	Potência ativa (kW)	Potência reativa (kVAR)	Potência aparente (kVA)	Cabo mm <sup>2</sup> Ampacidade	Cabo mm <sup>2</sup> Queda de tensão	Cabo mm <sup>2</sup> Seção mínima	Cabo mm <sup>2</sup> Escolhido	Disjuntor BT
1	630	264,38	683,23	4x185mm <sup>2</sup>	50mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	4x185mm <sup>2</sup>	600A

Fonte: Autoria do grupo

Para o ponto de alimentação que liga o QGF as áreas:

Quadro 4 - Secção condutores selecionados para a alimentação que liga QGF as áreas 1,2 e 3

Area	Potência ativa (kW)	Potência reativa (kVAR)	Potência aparente (kVA)	Cabo mm <sup>2</sup> Ampacidade	Cabo mm <sup>2</sup> Queda de tensão	Cabo mm <sup>2</sup> Seção mínima	Cabo mm <sup>2</sup> Escolhido	Disjuntor BT
1	262	146,19	315,84	2x120mm <sup>2</sup>	70mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2x120mm <sup>2</sup>	600A
2	103	58,97	125,69	95mm <sup>2</sup>	35mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	95mm <sup>2</sup>	250A
3	265	64,67	279,35	2x120mm <sup>2</sup>	70mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2x120mm <sup>2</sup>	600A

Fonte: Autoria do grupo



Para o ponto de alimentação que liga os motores:

Quadro 5 - Secção de condutores seleccionados para a alimentação dos motores

Area	Carga	Potência mecânica (CV)	Potência aparente (kVA)	Cabo mm <sup>2</sup> Ampacidade	Cabo mm <sup>2</sup> Queda de tensão	Cabo mm <sup>2</sup> Seção mínima	Cabo mm <sup>2</sup> Escolhido	Disjuntor BT
1	Motor 1	75	66,27	35 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	35 mm <sup>2</sup>	125A
	Motor 2	100	91,46	70 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	70 mm <sup>2</sup>	160A
	Motor 3	30	27,16	10 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	50A
	Motor 4	150	130,95	95 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	250A
2	Motor 5	15	13,75	4 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	32A
	Motor 6	75	66,27	35 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	35 mm <sup>2</sup>	125A
	Motor 7	50	45,68	25 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	100A
3	Auxiliar	-	97,83	70 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	70 mm <sup>2</sup>	160A
	Auxiliar	-	81,52	50 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	160A
	Aquecimento 1	-	35	16 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	80A
	Aquecimento 2	-	25	10 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	50A
	Aquecimento 3	-	40	16 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	80A

Fonte: Autoria do grupo

Com os resultados obtidos a seleção dos condutores atende integralmente às exigências normativas e técnicas, contribuindo para a segurança, durabilidade e eficiência da instalação elétrica da indústria.

## 2.4 Disjuntores

Após a realização do dimensionamento dos condutores do projeto, a próxima etapa de cálculos é a definição dos dispositivos de proteção desses condutores contra curtos-circuitos e sobrecargas, a fim de prevenir riscos de incêndio, danos materiais e choques elétricos.

De acordo com a norma NBR 5410:2004, o projeto deve prever dispositivos de proteção que assegurem a integridade dos condutores e a continuidade do fornecimento de energia elétrica de forma segura e eficiente. O dimensionamento dos disjuntores deve estar alinhado à corrente de projeto do circuito, ao tipo de carga, ao tempo de atuação desejado, e às características de coordenação com os condutores e demais dispositivos.

A escolha dos disjuntores ideais para os pontos do projeto, foi definida a partir da corrente de projeto do circuito, obtida a partir da potência total das cargas, da tensão de alimentação e do fator de potência. Com isso, foi selecionado um modelo cuja corrente nominal ( $I_n$ ) e superior à corrente de projeto ( $I_p$ ), não ultrapassando a capacidade de condução do condutor ( $I_z$ ). Além disso, foi aplicado os devidos fatores de correção a temperatura e agrupamento, uma vez que esses impactam diretamente a corrente corrigida, que por sua vez influencia a escolha do disjuntor. Por fim, foi verificado a capacidade interrupção do disjuntor, curva de disparo e a seletividade, já que essas garantem a atuação correta e segura dos disjuntores frente a falhas, como curto-circuito.

Quadro 6 - Verificação de disjuntores

Circuito	Ip (A)	Seção	Iz(máx A)	In	Capacidade		Ip ≤ In ≤ Iz	I2 ≤ 1,45 * Iz
					Não atuação In x 1,05	Atuação In x 1,35		
CARGA GERAL	1.118,10	185,00	1256,00	1200,00	1260,00	1620,00	1118,1 ≤ 1200 ≤ 1256	1620 ≤ 1821,2
ÁREA 1	492,96	120,00	616,00	600,00	630,00	810,00	492,96 ≤ 600 ≤ 616	810 ≤ 893,2
ÁREA 2	200,21	95,00	264,00	250,00	262,50	337,50	200,21 ≤ 250 ≤ 264	337,5 ≤ 382,8
ÁREA 3	424,93	120,00	616,00	600,00	630,00	810,00	424,93 ≤ 600 ≤ 616	810 ≤ 893,2
MOTOR 1	105,22	35,00	137,00	125,00	131,25	168,75	105,22 ≤ 125 ≤ 137	168,75 ≤ 198,65
MOTOR 2	144,62	70,00	216,00	160,00	168,00	216,00	144,62 ≤ 160 ≤ 216	216 ≤ 313,2
MOTOR 3	43,81	10,00	60,00	50,00	52,50	67,50	43,81 ≤ 50 ≤ 60	67,5 ≤ 87
MOTOR 4	199,30	95,00	264,00	250,00	262,50	337,50	199,3 ≤ 250 ≤ 264	337,5 ≤ 382,8
MOTOR 5	22,47	4,00	34,00	32,00	33,60	43,20	22,47 ≤ 32 ≤ 34	43,2 ≤ 49,3
MOTOR 6	105,22	35,00	137,00	125,00	131,25	168,75	105,22 ≤ 125 ≤ 137	168,75 ≤ 198,65
MOTOR 7	72,53	25,00	110,00	100,00	105,00	135,00	72,53 ≤ 100 ≤ 110	135 ≤ 159,5
AUXILIAR	148,81	70,00	216,00	160,00	168,00	216,00	148,81 ≤ 160 ≤ 216	216 ≤ 313,2
AUXILIAR	124,01	50,00	167,00	160,00	168,00	216,00	124,01 ≤ 160 ≤ 167	216 ≤ 242,15
AQUECIMENTO 1	53,24	16,00	80,00	80,00	84,00	108,00	53,24 ≤ 80 ≤ 80	108 ≤ 116
AQUECIMENTO 2	38,03	10,00	60,00	50,00	52,50	67,50	38,03 ≤ 50 ≤ 60	67,5 ≤ 87
AQUECIMENTO 3	60,85	16,00	80,00	80,00	84,00	108,00	60,85 ≤ 80 ≤ 80	108 ≤ 116

Fonte: Autoria do grupo

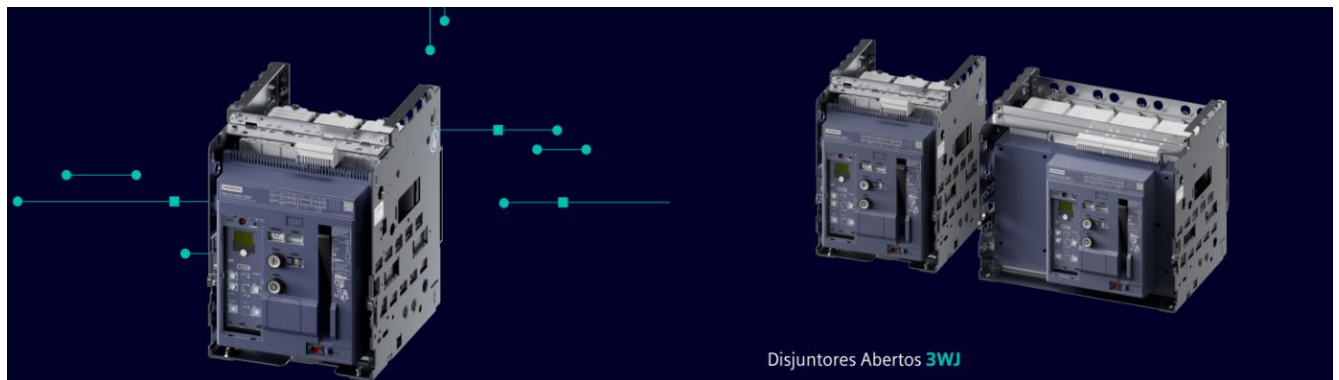
Abaixo segue os modelos e resultados obtidos dos disjuntores selecionados para todos os pontos do projeto.

Quadro 7 - Resultados e modelos de disjuntores selecionados para o projeto

Descrição	Dados das Cargas				Qtd De Cicuitos	FCA	FCT (30°)	Corrente de Projeto Corrigida I'p (A)	Disjuntor (A)	Fabricante	Modelo
	Tensao (V)	Potencia Aparente(kVA)	Fator de Potencia (FP)	Corrente de Projeto Ip (A)							
CARGA GERAL QGF	380	685,35	0,92	1125,2	1	1	1	1125,22	1250	SIEMENS	3WJ11122
ÁREA 1	380	315,84	0,87	500,1	4	0,82	1	609,85	600	SIEMENS	3VA1463
ÁREA 2	380	125,69	0,87	200,2	3	0,82	1	244,16	250	SIEMENS	3VA1225
ÁREA 3	380	279,35	0,97	424,9	5	0,82	1	518,21	600	SIEMENS	3VA1463
MOTOR 1	380	66,27	0,83	105,22	12	0,78	1	134,89	125	SIEMENS	3VM1112
MOTOR 2	380	91,46	0,82	144,62	12	0,78	1	185,42	160	SIEMENS	3VM1116
MOTOR 3	380	27,16	0,81	43,81	12	0,78	1	56,17	50	SIEMENS	3VM1115
MOTOR 4	380	130,95	0,84	206,42	12	0,78	1	264,64	250	SIEMENS	3VM2225
MOTOR 5	380	13,75	0,8	22,47	12	0,78	1	28,8	32	SIEMENS	3VM1132
MOTOR 6	380	66,27	0,83	105,22	12	0,78	1	134,89	125	SIEMENS	3VM1125
MOTOR 7	380	45,68	0,81	72,53	12	0,78	1	92,99	100	SIEMENS	3VM1110
AUXILIAR	380	97,83	0,92	148,81	12	0,78	1	190,78	160	SIEMENS	3VM1116
AUXILIAR	380	81,52	0,92	124,01	12	0,78	1	158,98	160	SIEMENS	3VM1116
AQUECIMENTO 1	380	35	1	53,24	12	0,78	1	68,26	80	SIEMENS	3VM1180
AQUECIMENTO 2	380	25	1	38,03	12	0,78	1	48,75	50	SIEMENS	3VM1150
AQUECIMENTO 3	380	40	1	60,85	12	0,78	1	78,01	80	SIEMENS	3VM1180

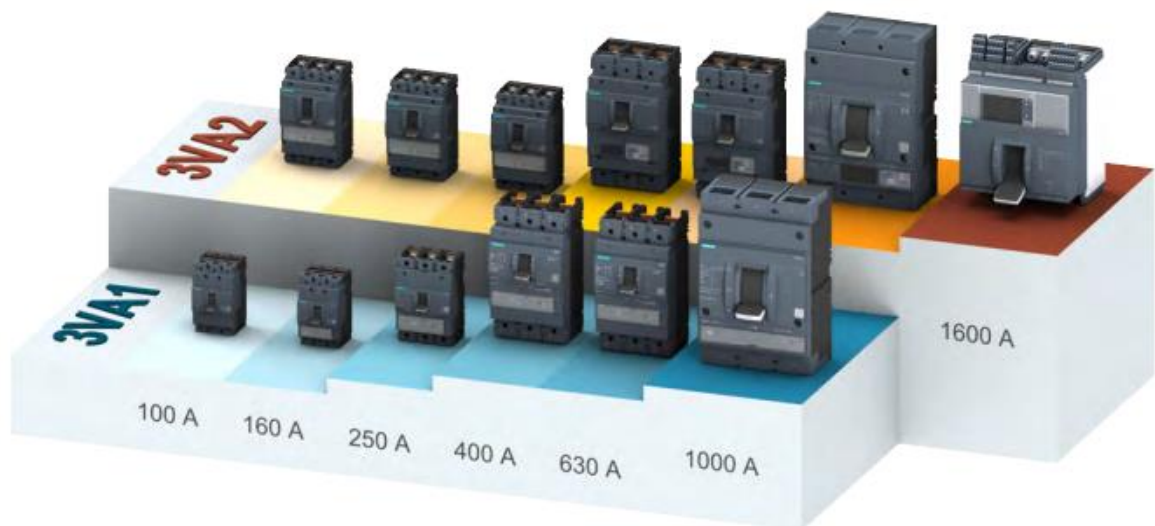
Fonte: Autoria do grupo

Figura 7- Disjuntor 3WJ11122



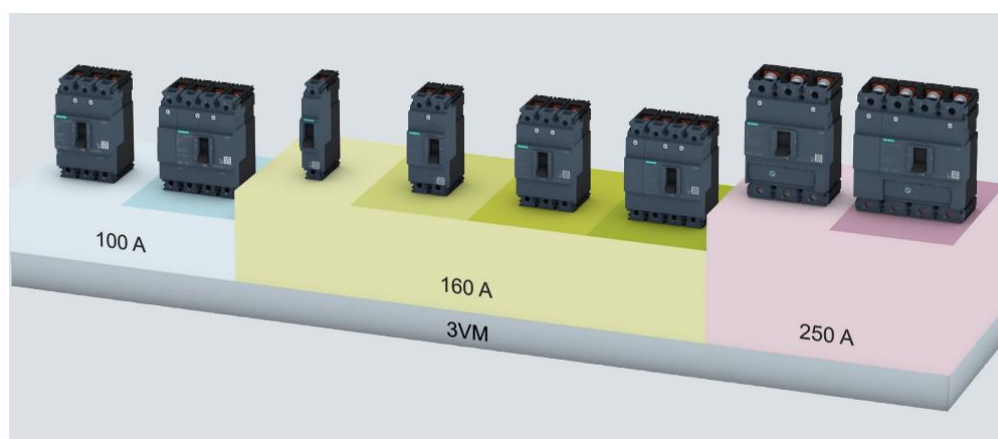
Fonte: Catálogo Siemens

Figura 8- Linha completa de Disjuntores CX MOLDADA 3VA1 E 3VA2



Fonte: Catálogo Siemens

Figura 9 - Linha completa de disjuntores cx moldada 3VM



Fonte: Catálogo Siemens

Os modelos selecionados atendem tanto aos requisitos técnicos quanto normativos, proporcionando confiabilidade, segurança operacional e continuidade no fornecimento de energia elétrica. O grupo responsável optou por apresentar apenas os aspectos gerais dos disjuntores, não se aprofundando em dados mais técnicos da construção dos mesmos. Em caso, de maiores especificações consultar o site ou próprio catálogo dos modelos especificados.

Assim, os resultados obtidos refletem um dimensionamento criterioso e coerente com as condições reais da instalação, garantindo integridade da rede elétrica como um todo.

## **2.5 Análise de curto circuito**

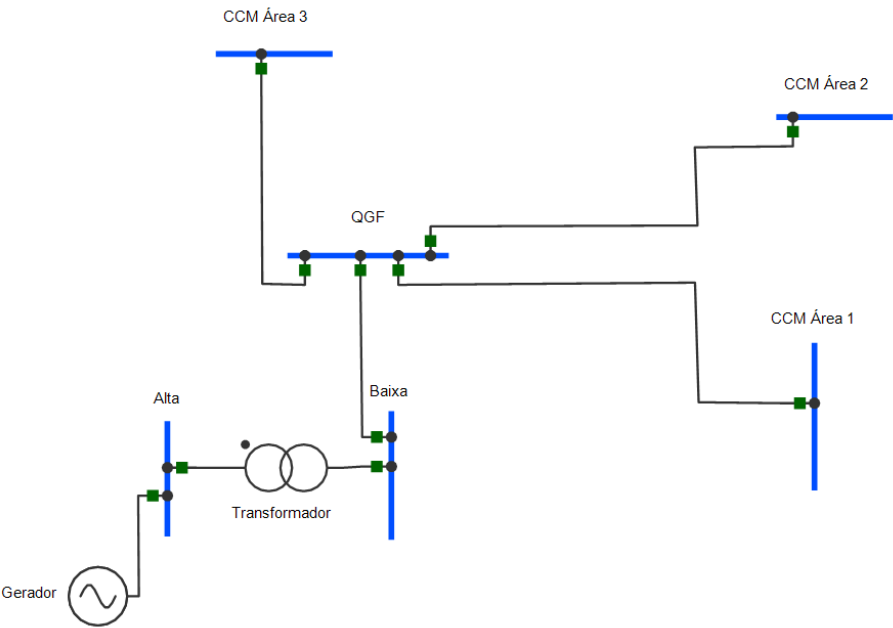
A análise de curto-circuito é uma etapa fundamental para o dimensionamento dentro do projeto, já que a partir dela é possível identificar níveis de corrente de falta em diferentes pontos do sistema. A partir dos resultados e análise pode-se definir a correta especificação dos dispositivos de proteção, condutores e barramentos do sistema. Além disso, garante a segurança dos trabalhadores que estarão envolvidos em futuras manutenções e na instalação como um todo.

De acordo com a NBR 5410, as correntes de curto-circuito devem ser determinadas para possibilitar o correto dimensionamento dos dispositivos de proteção, que devem possuir capacidade de interrupção compatível com a corrente de curto-circuito presumida no ponto da instalação (ABNT, 2004, NBR 5410, item 6.5.3.2.2). Da mesma forma, a norma NBR 14039, descreve que devem ser considerados os valores de corrente de curto-circuito trifásica e monofásica no dimensionamento da instalação e escolha dos equipamentos, levando-se em conta as componentes simétricas e assimétricas (ABNT, 2005, NBR 14039, item 5.3.3 e 6.1.1). Por fim, a NR10 prevê que em instalações elétricas deve conter a documentação atualizada, contemplando estudos de curto-circuito, seletividade, coordenação e proteção.

Seguindo as normas descritas, a tabela de análise de curto-circuito do projeto da indústria de papel foi realizada, contemplando os valores calculados de corrente de curto-circuito em diversos pontos da instalação, incluindo o ponto de entrega, o secundário do transformador, o Quadro Geral de Força (QGF) e os barramentos das áreas 1, 2 e 3.

O grupo responsável pelo projeto, utilizou o simulador PSP-UFU para realizar as devidas análises de corrente de curto-circuito. Abaixo é demonstrado a imagem do sistema para início das análises.

Figura 10 - Sistema representado no PSP-UFU



Fonte: Autoria do grupo

Os parâmetros considerados foram: corrente trifásica de curto-circuito ( $I_{cs}$ ), corrente monofásica franco ( $I_{cft}$ ), fator de assimetria e corrente de curto-circuito assimétrica ( $I_{ca}$ ).

Os pontos calculados para a análise de curto-circuito foram, o ponto de entrega, o secundário do transformador, o Quadro Geral de Força (QGF) e os barramentos das áreas 1, 2 e 3.

- **Ponto de entrega PSP-UFU**

Figura 11 - Curto-circuito trifásico ponto de entrega

Fault bus name	Phase A		Phase B		Phase C	
	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle
Ponto de entrega	8204.9060445260548	-78.6900675259798	8204.9060445229388	161.3099324740076	8204.9060445229388	41.3099324740328

Fonte: Autoria do grupo

Figura 12 - Curto-circuito fase-terra ponto de entrega

Fault bus name	Phase A		Phase B		Phase C	
	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle
Ponto de entrega	6806.7857726646671	-77.4711922908485	0.0	0.0	0.0000000000001	-90.0

Fonte: Autoria do grupo

Figura 13 - Ponto de entrega Excel

Corrente de Curto Circuito no ponto de Fornecimento			
Corrente de Curto Trifasico			
Ics	1609,11446262437-8045,57231312187j	A - Forma Cart.	
Modulo de Ics	8204,906045	A	
Fase de Ics	-78,69006753	Graus	
Corrente de Curto Fase - Terra			
Zeq - Lado de alta do Transformador	0,4+1,8j		
Icft	1476,59915393766-6644,69619271948j	A - Forma Cart.	
Modulo de Icft	6806,785773	A	
Fase de Icft	-77,47119229	Graus	

Fonte: Autoria do grupo

- Secundário do transformador PSP-UFU

Figura 14 - Curto-circuito trifásico secundário do transformador

Fault bus name	Phase A		Phase B		Phase C	
	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle
Secundário do transformador	33708,4880546572676	-73,2365539518418	33708,488054644462	166,7634460481456	33708,488054644462	46,7634460481707

Fonte: Autoria do grupo

Figura 15 - Curto-circuito fase-terra secundário do transformador

Fault bus name	Phase A		Phase B		Phase C	
	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle
Secundário do transformador	32938,4974685321067	-73,1983619622843	0,00000000000011	180,0	0,0	0,0

Fonte: Autoria do grupo

Figura 16 - Curto-circuito secundário do transformador Excel

Corrente de curto-circuito secundário do transformador(lado BT)			
Impedancia equivalente até o ponto - Apenas sequência positiva!	1,3+4,31575680566778j		
Ics	9722,23519235548-32276,0020751623j	A - Forma Cart.	
Modulo de Ics	33708,48806	A	
Fase de Ics	-73,23655395	Graus	
Corrente de Curto Fase - Terra			
ZEQ até este ponto - Lado de baixa	4+13,2472704170033j		
icft	9521,17460156129-31532,3936585965j	A - Forma Cart.	
Modulo de Ics	32938,49747	A	
Fase de Ics	-73,19836196	Graus	
Corrente assimétrica de curto-circuito no Lado de Baixa Transformador			
relação X/R no CCM	3,536885246		
Fator de assimetria	1,35		
Corrente de curto-circuitoassimétrico (Ica)	45506,45888		
Impulso da corrente de curto-circuito	64355,85132		

Fonte: Autoria do grupo



- **QGF PSP-UFU**

Figura 17 - Curto-circuito trifásico QGF

Fault bus name	Phase A		Phase B		Phase C	
	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle
QGF	30283.2662282118035	-72.008603474676	30283.266228200293	167.9913965253115	30283.266228200293	47.9913965253366

Fonte: Autoria do grupo

Figura 18 - Curto-circuito fase-terra QGF

Fault bus name	Phase A		Phase B		Phase C	
	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle
QGF	23550.8498088321467	-74.8673184471612	0.00000000000011	180.0	0.00000000000011	-165.9637565320735

Fonte: Autoria do grupo

Figura 19 - Curto-circuito QGF Excel

Corrente de Curto-circuito no barramento QGF			
Impedância equivalente até o ponto - Apenas sequência positiva!	1,51104570637119+4,79619309375642j		
Corrente CC Trifásica			
Ics	9079,05719110731-28817,7327887602j	A - Forma Cart.	
Modulo de Ics	30214,08616	A	
Fase de Ics	-72,5129114	Graus	
Corrente de curto-circuito fase-terra			
ZEQ até este ponto - Lado de baixa do transformador	7,77364958448753+18,8748673699119j		
Ics	8503,32260674685-20646,5553484941j	A - Forma Cart.	
Modulo de Ics	22329,05603	A	
Fase de Ics	-67,61559452	Graus	

Fonte: Autoria do grupo

- **CCM ÁREA 1 PSP-UFU**

Figura 20 - Curto-circuito trifásico CCM área 1

Fault bus name	Phase A		Phase B		Phase C	
	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle
Barramento Área 1	24577.4356461476636	-59.0418667355673	24577.435646138325	-179.0418667355798	24577.435646138325	60.9581332644453

Fonte: Autoria do grupo

Figura 21 - Curto-circuito fase-terra CCM área 1

Fault bus name	Phase A		Phase B		Phase C	
	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle
Barramento Área 1	10643.8697012031407	-74.475072737815	0.00000000000005	180.0	0.00000000000006	153.434948822922

Fonte: Autoria do grupo

Figura 22 - Curto-circuito CCM Área 1 Excel

Corrente de curto-circuito no CCM 1			
Impedância equivalente até o ponto - Apenas sequência positiva!	3,21724376731302+5,62115846771764j		
Corrente CC Trifasica			
Ics	11652,7292793149-20359,6129475598j	A - Forma Cart.	
Modulo de Ics	23458,47265	A	
Fase de Ics	-60,21553776	Graus	
Corrente de curto-circuito fase-terra			
ZEQ até este ponto - Lado de baixa do transformador	10,9981994459834+40,6892718020449j		
Ics	2821,72398723802-10439,3355322364j	A - Forma Cart.	
Modulo de Ics	10813,96563	A	
Fase de Ics	-74,87455057	Graus	
Corrente assimetrica de curto-circuito no CCM 1			
Relação X/R no CCM	1,747280075		
Fator de assimetria	1,15		Tabelado
Corrente de curto-circuitoassimetrico (Ica)	26977,24355		
Impulso da corrente de curto-circuito	38151,5837		

Fonte: Autoria do grupo

- CCM ÁREA 2 PSP-UFU

Figura 23 - Curto-circuito trifásico CCM área 2

Fault bus name	Phase A		Phase B		Phase C	
	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle
Barramento Área 2	15021.9266575587881	-42.3262648644378	15021.9266575530801	-162.3262648644504	15021.9266575530819	77.6737351355748

Fonte: Autoria do grupo

Figura 24 - Curto-circuito fase-terra CCM área 2

Fault bus name	Phase A		Phase B		Phase C	
	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle
Barramento Área 2	5152.6401705141807	-72.1703861787508	0.00000000000001	180.0	0.00000000000003	-165.9637565320735

Fonte: Autoria do grupo

Figura 25 - Curto-circuito CCM Área 2 Excel

Corrente de curto-circuito no CCM 2			
Impedância equivalente até o ponto - Apenas sequência positiva!	7,51485457063712+7,13033436799465j		
Corrente CC Trifasica			
Ics	10639,3993538867-10095,0023922295j	A - Forma Cart.	
Modulo de Ics	14666,48874	A	
Fase de Ics	-43,49600272	Graus	
Corrente de curto-circuito fase-terra			
ZEQ até este ponto - Lado de baixa do transformador	18,02641966759+80,6217510264216j		
Ics	1203,91381832093-5384,41032150424j	A - Forma Cart.	
Modulo de Ics	5517,36196	A	
Fase de Ics	-77,396397	Graus	
Corrente assimetrica de curto-circuito no CCM 2			
relação X/R no CCM	0,949400799		
Fator de assimetria	1,02		
Corrente de curto-circuitoassimetrico (Ica)	14959,81851		
Impulso da corrente de curto-circuito	21156,37823		

Fonte: Autoria do grupo



- CCM ÁREA 3 PSP-UFU

Figura 26 - Curto-circuito trifásico CCM área 3

Fault bus name	Phase A		Phase B		Phase C	
	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle
Barramento Área 3	20602.078459511853	-49.5835940796683	20602.0784595040204	-169.5835940796808	20602.0784595040204	70.4164059203443

Fonte: Autoria do grupo

Figura 27 - Curto-circuito fase-terra CCM área 3

Fault bus name	Phase A		Phase B		Phase C	
	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle	Current (A)	Angle
Barramento Área 3	9355.8486736558625	-71.684955864949	0.00000000000003	0.0	0.0	0.0

Fonte: Autoria do grupo

Figura 28 - Curto-circuito CCM Área 3 Excel

Corrente de curto-circuito no CCM 3			
Impedância equivalente até o ponto - Apenas sequência positiva!	4,81852493074792+5,93469724888107j		
Corrente CC Trifasica			
Ics	12527,6177455611-15429,5390473523j	A - Forma Cart.	
Modulo de Ics	19874,90583	A	
Fase de Ics	-50,92601531	Graus	
Corrente de curto-circuito fase-terra			
ZEQ até este ponto - Lado de baixa do transformador	11,6431094182825+45,0521526884715j		
Ics	2450,96023776704-9483,80977094189j	A - Forma Cart.	
Modulo de Ics	9795,399627	A	
Fase de Ics	-75,50973876	Graus	
Corrente assimetrica de curto-circuito no CCM 3			
relação X/R no CCM	1,232848233		
Fator de assimetria	1,08		Tabelado Aproximado
Corrente de curto-circuitoassimetrico (Ica)	21464,89829		4,53 kA
Impulso da corrente de curto-circuito	30355,95028		6,41 kA

Fonte: Autoria do grupo

Os valores de impedância dos cabos, sequência positiva, negativa (Iguais) e sequência zero foram obtidos via fabricante, valores esses que foram utilizados para calcular a corrente de curto-circuito trifásico e fase-terra dos pontos citados via simulador. Além disso as demais impedâncias utilizadas na simulação podem ser encontradas na figura de dados do cliente (Figura 2).

Quadro 8 - Valores de impedância de sequência positiva, negativa e zero dos condutores

IMPEDÂNCIA Cabos Eproflex 90 0,6/1 kV (PVC)	Resistência	Reatância
2,5	8,8882	0,1378
4	5,5518	0,1345
6	3,7035	0,1279
10	2,2221	0,1225
16	1,3899	0,1207
25	0,8891	0,1173
35	0,6353	0,1164
50	0,4992	0,1128
70	0,3428	0,0987
95	0,2477	0,0963
120	0,1971	0,0953
150	0,1632	0,0943
185	0,1295	0,0948
240	0,1004	0,0927
300	0,0818	0,0925
400	0,0665	0,0911
500	0,0547	0,0911
630	-	-

Fonte: Induscabos

Os valores dos cálculos de cada ponto e apresentado na tabela abaixo:

Quadro 9 - Corrente de curto-circuito

Setor	Corrente de curto-circuito			
	trifásico (Ics) - kA	monofásico franco (Icft) - kA	Fator de assimetria	Corrente de curto assimétrica (Ica) - kA
Ponto de entrega	8,20	6,81	50,00	1,69
Secundário do transformador	33,71	32,94	3,53	1,35
QGF	30,21	22,32	3,17	1,31
Barramento área 1	23,45	10,81	1,74	1,15
Barramento área 2	14,67	5,52	0,94	1,02
Barramento área 3	19,87	9,80	1,23	1,08

Fonte: Autoria do grupo

No ponto de entrega, a corrente trifásica foi de 8,20 kA, enquanto a corrente monofásica atingiu 6,81 kA, com fator de assimetria de 50,0 e corrente assimétrica de 1,69 kA. Já no secundário do transformador, ponto mais crítico da instalação, a corrente trifásica chegou a 33,71 kA e a monofásica a 32,94 kA, com fator de assimetria de 3,53 e corrente assimétrica de 1,35 kA. O QGF apresentou valores semelhantes, com 30,21 kA trifásico e 22,32 kA monofásico.

Já nos barramentos das áreas 1, 2 e 3, foi observado a queda progressiva das correntes de curto-circuito, devido às perdas por impedância ao longo da rede. Na área 1, os valores foram

23,45 kA ( $I_{cs}$ ) e 10,81 kA ( $I_{cft}$ ). Na área 2, 14,67 kA e 5,52 kA respectivamente. Por fim, na área 3, 19,87 kA e 9,8 kA, com fatores de assimetria variando entre 0,94 e 1,74.

A análise foi realizada conforme as diretrizes das normas NBR 5410 e NBR 14039, que estabelecem critérios para o dimensionamento de dispositivos de proteção e condutores com base nos valores de curto-circuito. Com isso, notou-se que o ponto mais crítico da instalação é o secundário do transformador, onde foi registrada a maior corrente trifásica de curto-circuito (33,71 kA) e corrente franco monofásica de 32,94 kA, com fator de assimetria elevado. Esse valor indica a necessidade de dispositivos com alto Poder de Interrupção (PDI), além de cuidados especiais com a seletividade e coordenação da proteção, já o menor ponto de curto-circuito foi o barramento da Área 2, com corrente trifásica de 14,67 kA e corrente franco monofásica de 5,52 kA, isso se deu devido à distância elétrica maior do centro de transformação e o efeito das impedâncias ao longo do circuito.

Portanto conclui-se, que o sistema analisado apresenta níveis de curto-circuito compatíveis com as exigências normativas, podendo ser cabível um estudo de seletividade e validação computacional mais aprofundado em pontos como o secundário do transformador, já que demonstrou maior incidência de corrente de curto-circuito.

## **2.6 Inversores**

Com os motores dimensionados, juntamente com condutores e dispositivos de proteção cabe ao grupo responsável pelo projeto a escolha dos modelos de inversores para os motores que a indústria de papel irá utilizar em sua operação.

A empresa optou por inversores como chave de partida, já que em sua operação será necessário o controle de velocidade e torque dos motores. O grupo responsável escolheu em seguir o mesmo fabricante dos motores para os inversores, neste caso o fabricante será a WEG.

Cada motor da operação terá seu inversor individualmente. Os inversores deverão ser parametrizados conforme os dados do motor como exemplo: potência, corrente nominal, tensão, rampa de aceleração, RPM, frequência e demais dados se necessária integração a rede de automação.

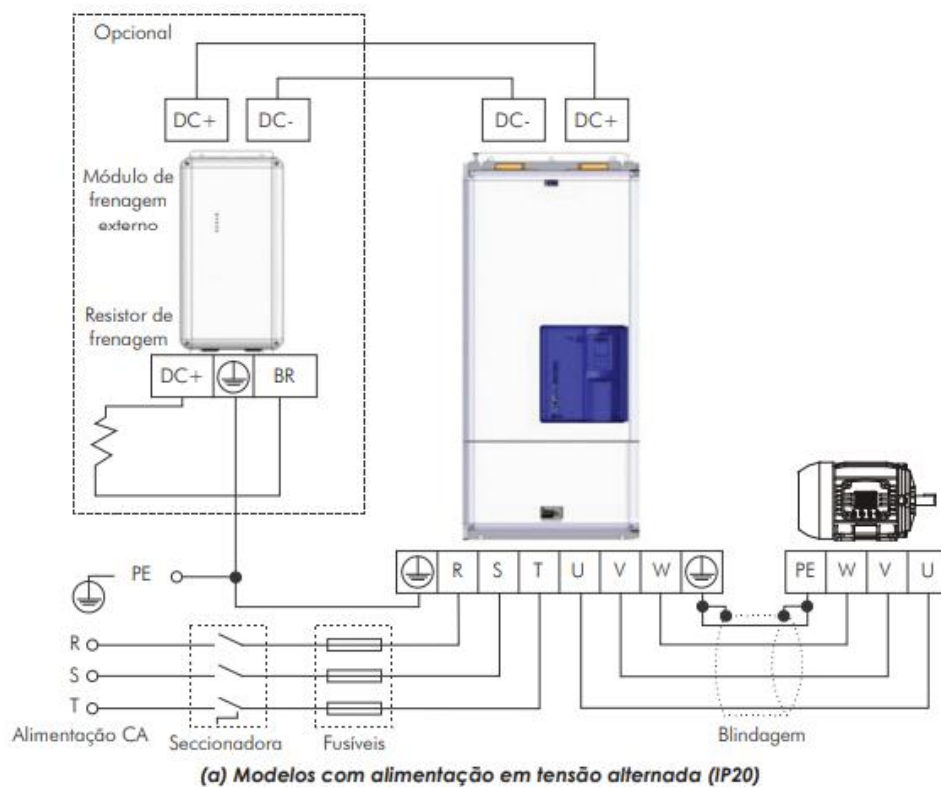
O grupo responsável escolheu a linha CFW11 da WEG para os motores, a linha da WEG conta com excelentes qualidades em performance, robustez, tecnologia e longevidade, fatores esses indispensáveis em um ambiente industrial.

Figura 29 – Inversor WEG CFW11



Fonte: Catálogo CFW11 WEG

Figura 30 – Método de instalação dos inversores



Fonte: Catálogo CFW11 WEG

Os inversores foram dimensionados levando em conta a corrente nominal dos motores a qual serão instalados. Abaixo segue a tabela dos modelos especificados dos inversores e a tabela fornecida pela própria WEG.

Quadro 10 - Dimensionamento de inversores

AREA	DESCRIÇÃO	Tipo Acion.	Dados da Carga								FS	Ip(A)	Fabricante	Modelo
			Tensao(V)	Grandezas Elétricas				Fp	Rend. (η)					
				(kW)	(CV)	(kVAr)	(kVA)							
1	MOTOR 1	INVERSOR	380	55,00	75,00	30,68	66,27	0,83	0,96	1,25	105,22	WEG	CFW110105T40DBZ	
	MOTOR 2	INVERSOR	380	75,00	100,00	42,93	91,46	0,82	0,962	1,25	144,62	WEG	CFW110142T4SZ	
	MOTOR 3	INVERSOR	380	22,00	30,00	12,90	27,16	0,81	0,943	1,25	43,81	WEG	CFW110045T4SZ	
	MOTOR 4	INVERSOR	380	110,00	150,00	59,68	130,95	0,84	0,965	1,25	206,42	WEG	CFW110211T4SZ	
2	MOTOR 5	INVERSOR	380	11,00	15,00	6,60	13,75	0,80	0,931	1,25	22,47	WEG	CFW110024T4SZ	
	MOTOR 6	INVERSOR	380	55,00	75,00	30,68	66,27	0,83	0,958	1,25	105,22	WEG	CFW110105T40DBZ	
	MOTOR 7	INVERSOR	380	37,00	50,00	21,70	45,68	0,81	0,96	1,25	72,53	WEG	CFW110070T4SZ	
3	AUXILIAR	ALIM	380	90,00	1,50	35,27	97,83	0,92	-	-	148,81	-	-	
	AUXILIAR	ALIM	380	75,00	2,00	29,39	81,52	0,92	-	-	124,01	-	-	
	AQUECIMENTO 1	ALIM	380	35,00	1,50	0,00	35,00	1,00	-	-	53,24	-	-	
	AQUECIMENTO 2	ALIM	380	25,00	20,00	0,00	25,00	1,00	-	-	38,03	-	-	
	AQUECIMENTO 3	ALIM	380	40,00	20,00	0,00	40,00	1,00	-	-	60,85	-	-	

Fonte: Autoria do grupo

Figura 31 - Tabela de especificação inversor CFW11 WEG

Versão IP2x

Inversor de frequência CFW11						Máximo motor aplicável <sup>(1)</sup>										
Referência	Tensão de alimentação (V)		Tam.	IGBT de frenagem	Corrente nominal de saída (A)		Regime de sobrecarga normal (ND)					Regime de sobrecarga pesada (HD)				
							IEC				UL	IEC				UL
							60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz
							380 V ca	380 V ca	440 V ca	440 V ca	460 V ca	380 V ca	380 V ca	440 V ca	440 V ca	460 V ca
							ND	HD	cv	kW	cv	kW	HP	cv	kW	cv
CFW110003T4SZ	Trifásica	380-480	A	Incorporado interno	3,6	3,6	2,0	1,5	2,0	1,5	2,0	2,0	1,5	2,0	1,5	2,0
CFW110005T4SZ					5,0	5,0	3,0	2,2	3,0	2,2	3,0	3,0	2,2	3,0	2,2	3,0
CFW110007T4SZ					7,0	5,5	4,0	3,0	4,0	3,0	3,0	3,0	2,2	3,0	2,2	3,0
CFW110010T4SZ					10	10	6,0	4,5	6	4,5	5,0	6,0	4,5	6,0	4,5	5,0
CFW110013T4SZ					13,5	11	7,5	5,5	10	7,5	7,5	6,0	4,5	7,5	5,5	7,5
CFW110017T4SZ			B		17	13,5	10	7,5	12,5	9,2	10	7,5	5,5	10	7,5	7,5
CFW110024T4SZ					24	19	15	11	15	11	15	12,5	9,2	15	11	10
CFW110031T4SZ					31	25	20	15	20	15	20	15	11	15	11	15
CFW110038T4SZ			C		38	33	25	18,5	30	22	25	20	15	25	18,5	20
CFW110045T4SZ					45	38	30	22	30	22	30	25	18,5	30	22	25
CFW110058T4SZ					58,5	47	40	30	40	30	40	30	22	30	22	30
CFW110070T4SZ			D		70,5	61	50	37	50	37	50	40	30	50	37	40
CFW110088T4SZ					88	73	60	45	75	55	60	50	37	60	45	50
CFW110105T40DBZ			E		105	88	75	55	75	55	75	60	45	75	55	60
CFW110142T40DBZ					142	115	100	75	100	75	100	75	55	75	55	75
CFW110180T40DBZ					180	142	125	90	150	110	150	100	75	100	75	100
CFW110211T40DBZ					211	180	150	110	175	132	150	125	90	125	90	150
CFW110105T4SZ				Não incorporado	105	88	75	55	75	55	75	60	45	75	55	60
CFW110142T4SZ					142	115	100	75	100	75	100	75	55	75	55	75
CFW110180T4SZ					180	142	125	90	150	110	150	100	75	100	75	100
CFW110211T4SZ			211		180	150	110	175	132	150	125	90	125	90	150	
CFW110242T4SZ			F	Não incorporado; usar acessório externo DBW03	242	211	150	110	200	150	200	150	110	175	132	150
CFW110312T4SZ					312	242	200	150	250	185	250	150	110	200	150	200
CFW110370T4SZ					370	312	270	200	300	220	300	200	150	250	185	250
CFW110477T4SZ					477	370	350	260	400	300	400	270	200	300	220	300
CFW110515T4SZ			G	515	477	350	260	400	300	400	300	220	400	300	400	
CFW110601T4SZ				601	515	400	300	500	370	500	350	260	400	300	400	
CFW110720T4SZ				720	560	500	370	600	440	600	400	300	450	330	400	
CFW110760T4SZ				760	600	550	400	650	480	600	400	300	500	370	500	
CFW110795T4SZ			H	Não incorporado; usar acessório externo DBW04	795	637	550	400	650	480	600	450	330	550	400	500
CFW110877T4SZ					877	715	650	480	750	560	700	500	370	600	440	500
CFW111062T4SZ					1.062	855	750	560	900	660	900	600	440	700	515	700
CFW111141T4SZ					1.141	943	800	590	950	700	1.000	700	515	800	560	800

Fonte: Manual CFW11 WEG

Figura 32 - Dados da eletrônica/gerais CFW11

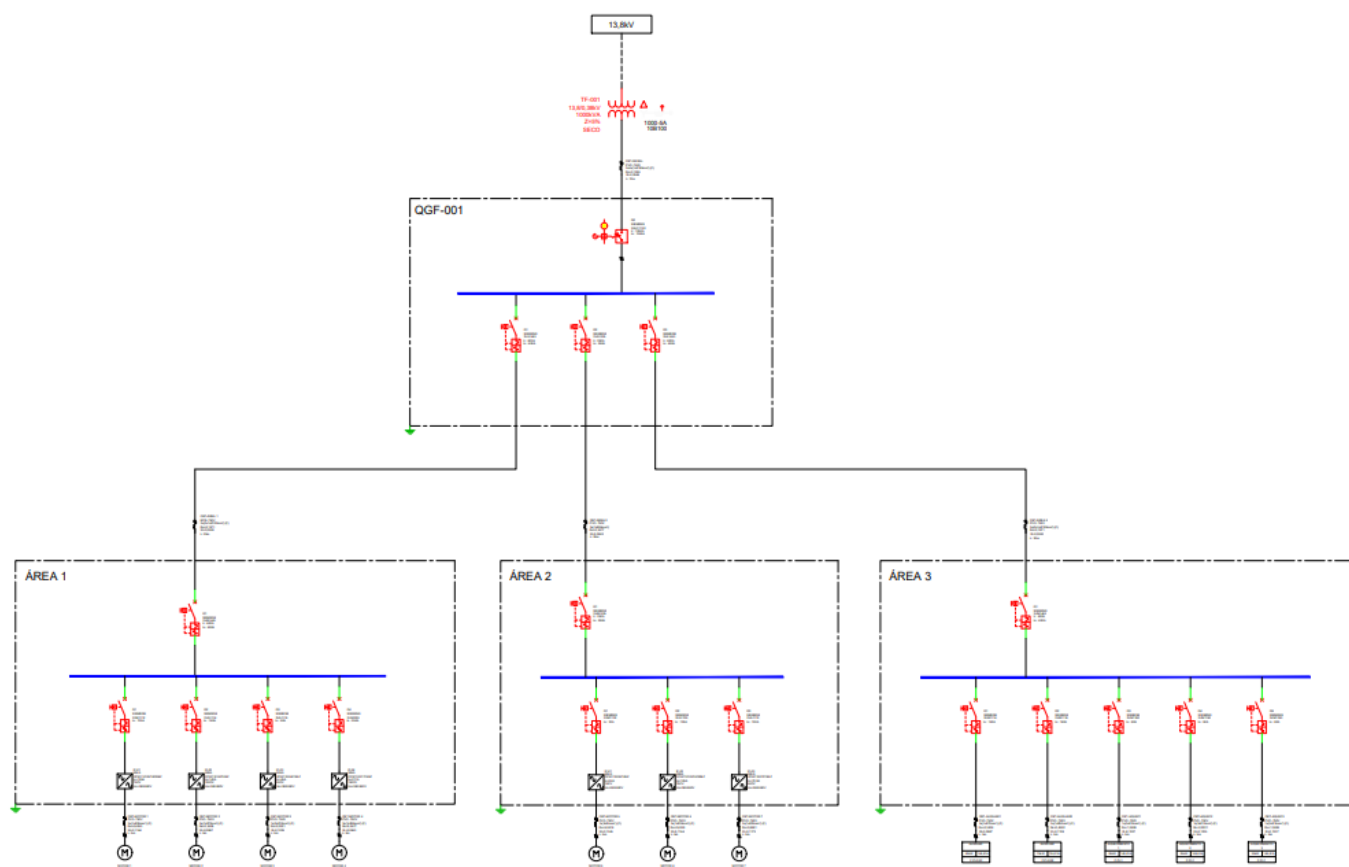
Controle	Método	<input checked="" type="checkbox"/> Tensão imposta <input checked="" type="checkbox"/> Tipos de controle: - V/f (Escalar) - VVW: Controle vetorial de tensão - Controle vetorial com encoder - Controle vetorial sensorless (sem encoder) <input checked="" type="checkbox"/> PWM SVM (Space Vector Modulation) <input checked="" type="checkbox"/> Reguladores de corrente, fluxo e velocidade em software (full digital) Taxa de Execução: - reguladores de corrente: 0,2 ms (frequência de chaveamento de 2,5 kHz e 5 kHz), 0,25 ms (frequência de chaveamento = 2 kHz) - regulador de fluxo: 0,4 ms (frequência de chaveamento de 2,5 kHz e 5 kHz), 0,5 ms (frequência de chaveamento = 2 kHz) - regulador de velocidade / medição de velocidade: 1,2 ms
	Frequência de saída	<input checked="" type="checkbox"/> 0 a 3,4 x frequência nominal (P0403) do motor. A frequência nominal do motor ajustável de 0 Hz a 300 Hz no modo escalar e de 30 Hz a 120 Hz no modo vetorial <input checked="" type="checkbox"/> Limite máximo de frequência de saída em função da frequência de chaveamento: - 125 Hz (frequência de chaveamento = 1,25 kHz) - 200 Hz (frequência de chaveamento = 2 kHz) - 250 Hz (frequência de chaveamento = 2,5 kHz) - 500 Hz (frequência de chaveamento = 5 kHz)
Performance	Controle de velocidade	V/f (Escalar): <input checked="" type="checkbox"/> Regulação (com compensação de escorregamento): 1 % da velocidade nominal <input checked="" type="checkbox"/> Faixa de variação da velocidade: 1:20 VVW: <input checked="" type="checkbox"/> Regulação: 1 % da velocidade nominal <input checked="" type="checkbox"/> Faixa de variação da velocidade: 1:30 Sensorless (P0202 = 3 motor de indução): <input checked="" type="checkbox"/> Regulação: 0,5 % da velocidade nominal <input checked="" type="checkbox"/> Faixa de variação da velocidade: 1:100 Vetorial com Encoder (P0202 = 4 motor de indução ou P0202 = 6 ímã permanente): <input checked="" type="checkbox"/> Regulação: ±0,01 % da velocidade nominal com entrada analógica 14-bits (IOA) ±0,01 % da velocidade nominal com referência digital (teclado, serial, Fieldbus, Potenciômetro Eletrônico, Multispeed) ±0,05 % da velocidade nominal com entrada analógica 12 bits (CC11) <input checked="" type="checkbox"/> Faixa de variação de velocidade: 1:1000
	Controle de torque	<input checked="" type="checkbox"/> Faixa: 10 a 180 %, regulação: ±5 % do torque nominal (P0202 = 4, 6 ou 7) <input checked="" type="checkbox"/> Faixa: 20 a 180 %, regulação: ±10 % do torque nominal (P0202 = 3, acima de 3 Hz)
Entradas (Cartão CC11)	Analogicas	<input checked="" type="checkbox"/> 2 entradas diferenciais isoladas por amplificador diferencial; resolução da AI1: 12 bits, resolução da AI2: 11 bits + sinal, (0 a 10) V, (0 a 20) mA ou (4 a 20) mA, impedância: 400 kΩ para (0 a 10) V, 500 Ω para (0 a 20) mA ou (4 a 20) mA, funções programáveis
	Digitais	<input checked="" type="checkbox"/> 6 entradas digitais isoladas, 24 Vcc, funções programáveis
Saídas (Cartão CC11)	Analogicas	<input checked="" type="checkbox"/> 2 saídas isoladas, (0 a 10) V, $R_i \geq 10 \text{ k}\Omega$ (carga máx.), 0 a 20 mA / 4 a 20 mA ( $R_i \leq 500 \Omega$ ) resolução: 11 bits, funções programáveis
	Relé	<input checked="" type="checkbox"/> 3 relés com contatos NA/NF (NO/NC), 240 Vca, 1 A, funções programáveis
Segurança	Proteção	<input checked="" type="checkbox"/> Sobrecorrente/curto-circuito na saída <input checked="" type="checkbox"/> Sub./sobretensão na potência <input checked="" type="checkbox"/> Falta de fase <input checked="" type="checkbox"/> Sobretemperatura <input checked="" type="checkbox"/> Sobrecarga no resistor de frenagem <input checked="" type="checkbox"/> Sobrecarga nos IGBTs <input checked="" type="checkbox"/> Sobrecarga no motor <input checked="" type="checkbox"/> Falha / alarme externo <input checked="" type="checkbox"/> Falha na CPU ou memória <input checked="" type="checkbox"/> Curto-circuito fase-terra na saída
Interface homem-máquina (HMI)	HMI standard	<input checked="" type="checkbox"/> 9 teclas: Gira/Pára, Incrementa, Decrementa, Sentido de Giro, Jog, Local/Remoto, Soft key direita e Soft key esquerda <input checked="" type="checkbox"/> Display LCD gráfico <input checked="" type="checkbox"/> Permite acesso/alteração de todos os parâmetros <input checked="" type="checkbox"/> Exatidão das indicações: - corrente: 5 % da corrente nominal - resolução da velocidade: 1 rpm <input checked="" type="checkbox"/> Possibilidade de montagem externa
Grau de Proteção	IP20	<input checked="" type="checkbox"/> Padrão
	IP00	<input checked="" type="checkbox"/> Hardware especial DC
	IP54	<input checked="" type="checkbox"/> Parte traseira do inversor (parte externa para montagem em flange) <sup>(1)</sup>
Conector USB para programação	Conexão de PC	<input checked="" type="checkbox"/> USB standard Rev. 2.0 (basic speed) <input checked="" type="checkbox"/> USB plug tipo B "device" <input checked="" type="checkbox"/> Cabo de interconexão: cabo USB blindado, "standard host/device shielded USB cable"

(1) Necessitam de hardware especial H1.

## 2.7 Esquema unifilar

Com os condutores, dispositivos de proteção, motores e acionamentos definidos o grupo elaborou o seguinte diagrama unifilar da planta da indústria de papel.

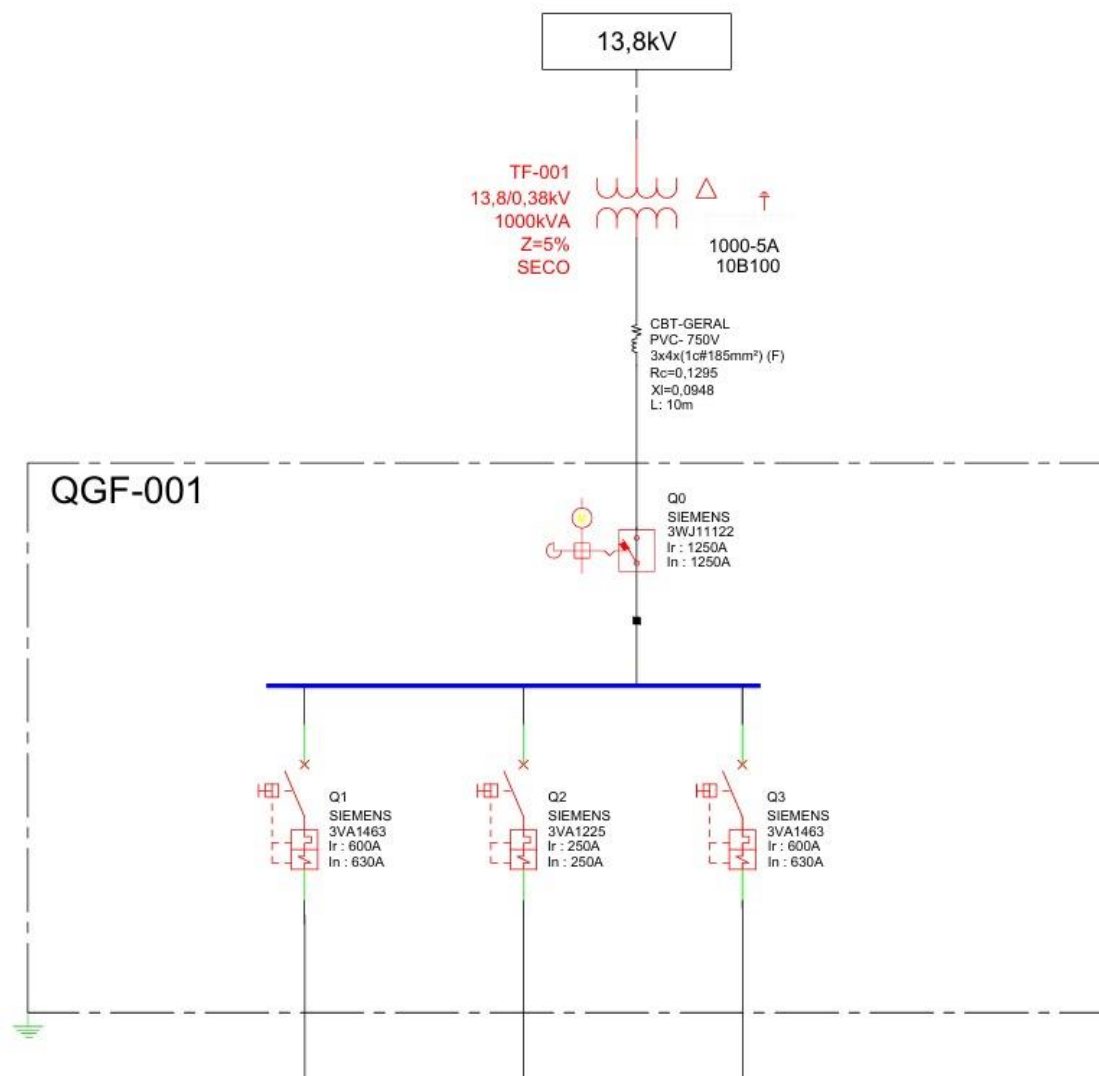
Figura 33 - Vista geral do diagrama unifilar



Fonte: Autoria do grupo

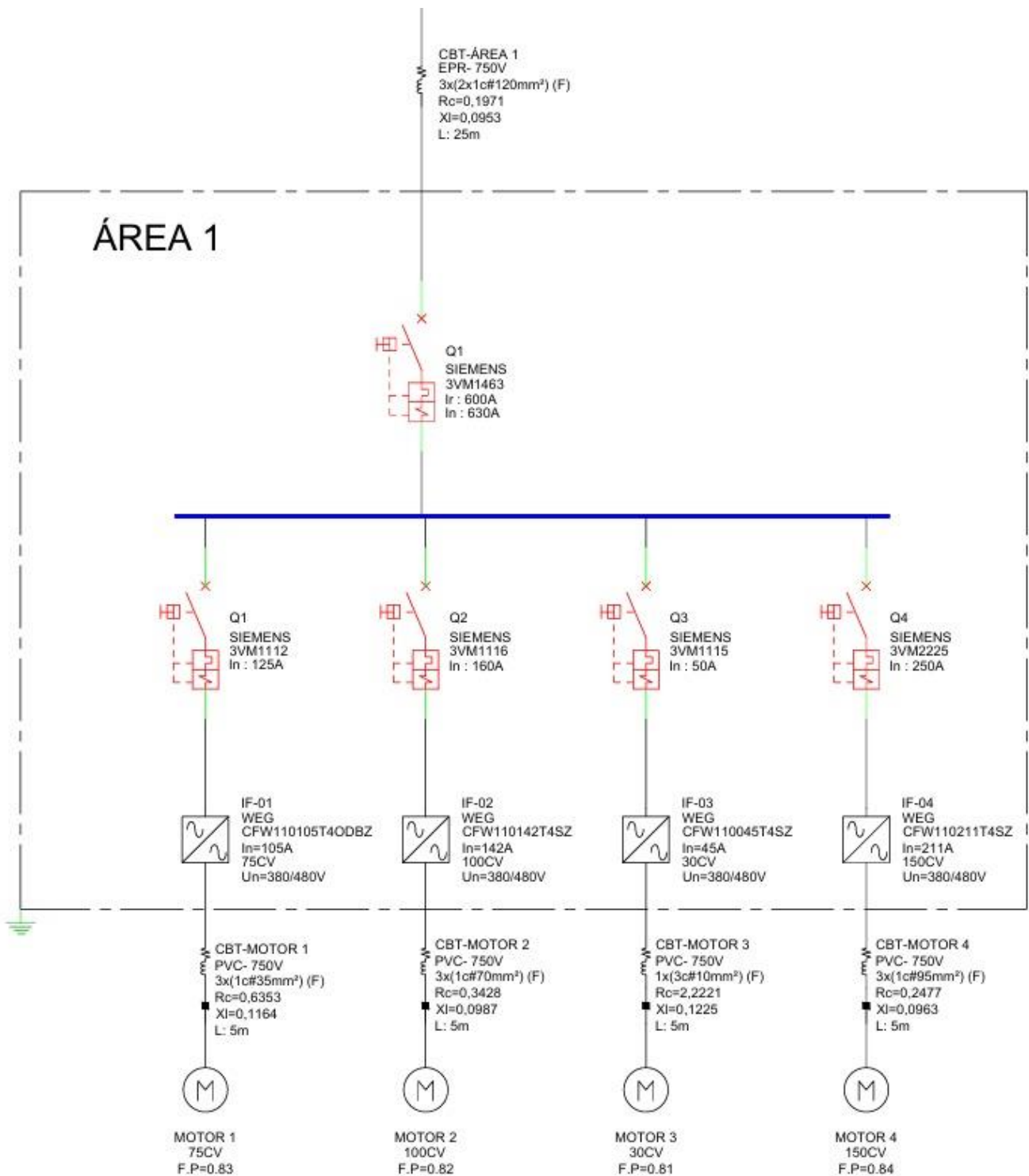


Figura 34 - Vista do diagrama unifilar substacao-QGF1



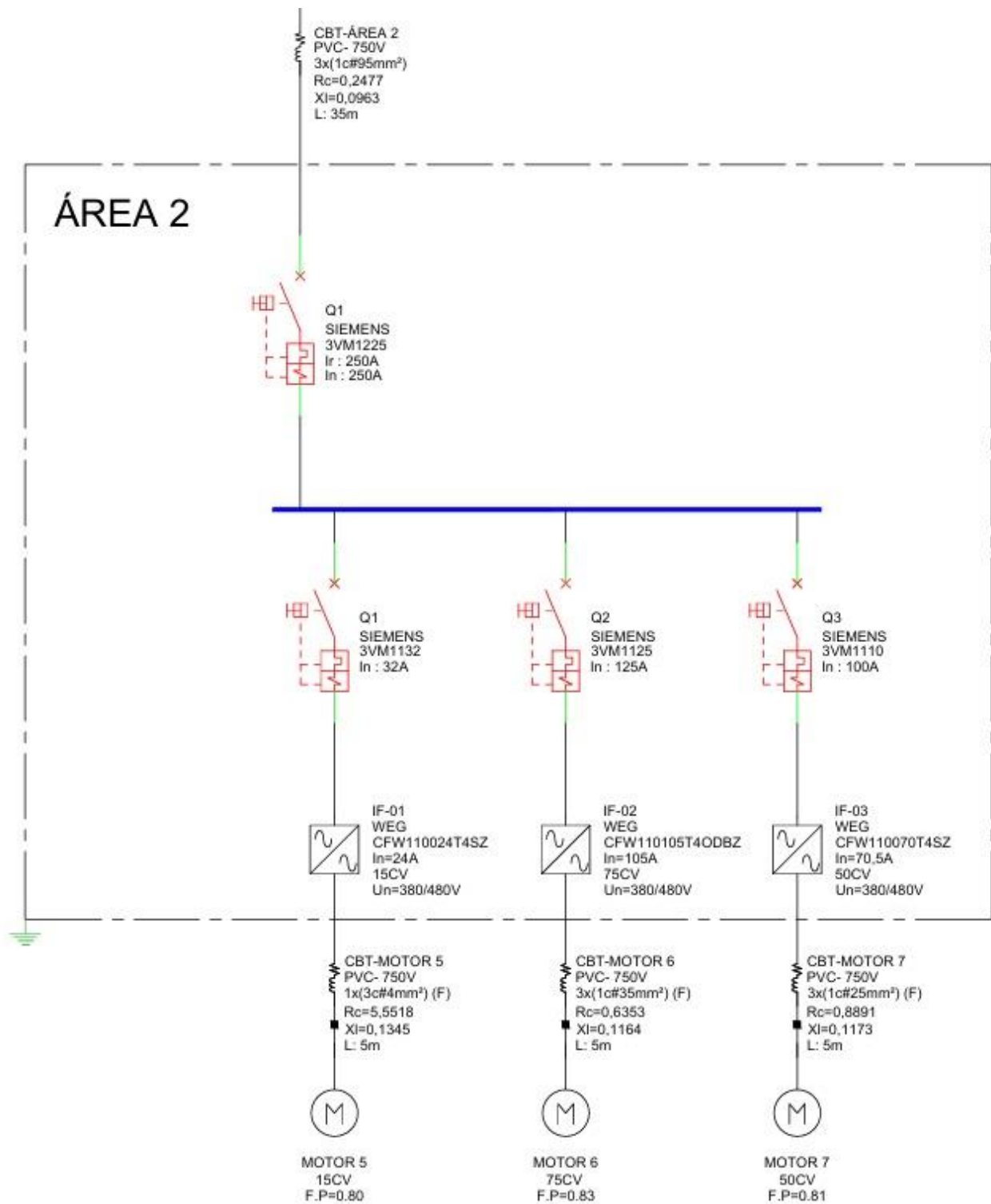
Fonte: Autoria do grupo

Figura 35 - Vista do diagrama unifilar QGF1 – AREA 1



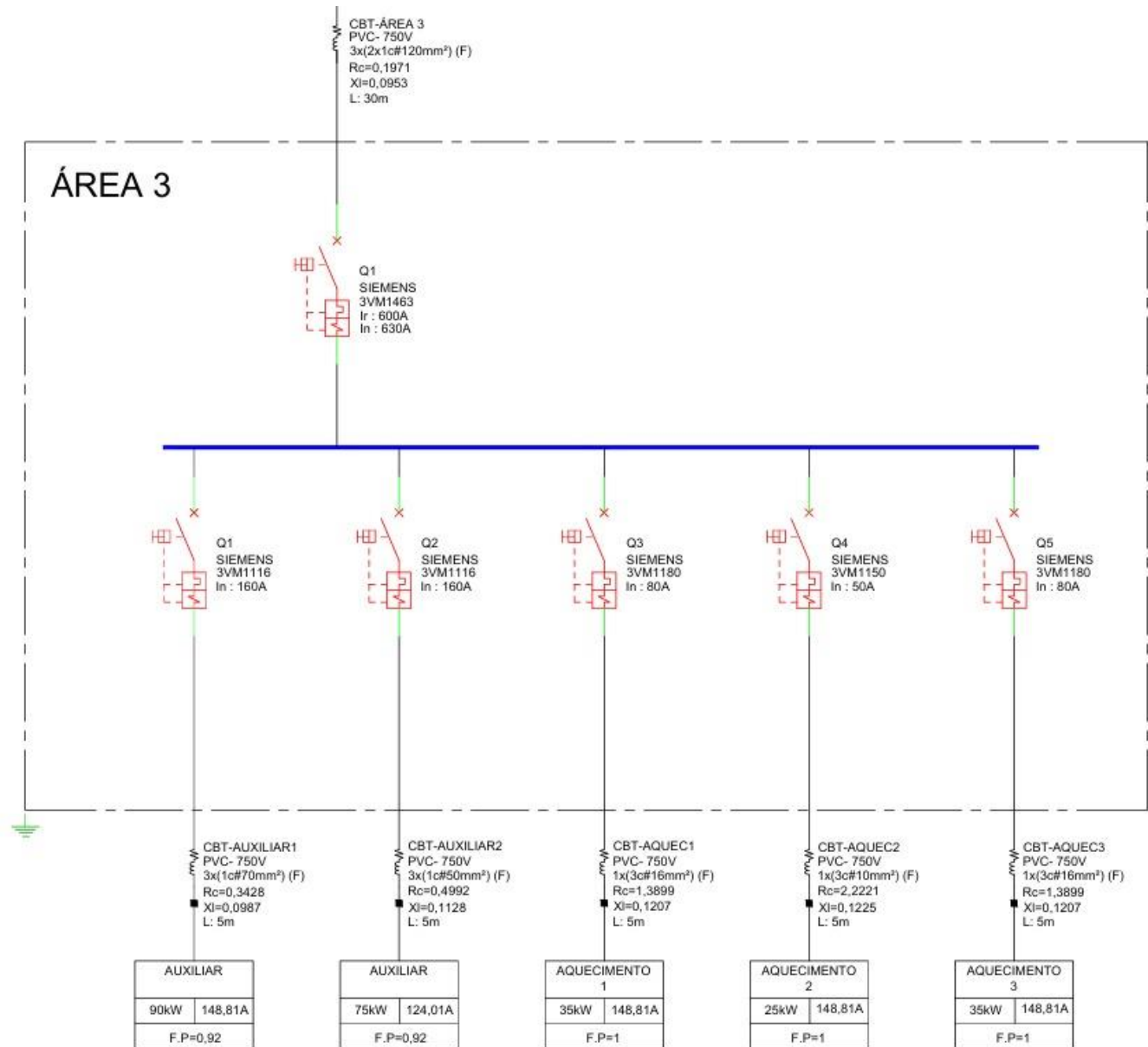
Fonte: Autoria do grupo

Figura 36 - Vista do diagrama unifilar QGF1 – AREA 2



Fonte: Autoria do grupo

Figura 37 - Vista do diagrama unifilar QGF1 – AREA 3



Fonte: Aatoria do grupo

## 2.9 Fator de potência

Para o cálculo do fator de potência geral do projeto foi utilizado a seguinte fórmula

Figura 38 - Fórmula Fator de potência

$$FP = \cos \varphi = \cos \left( \arctan \frac{kVAr}{kW} \right)$$

**Pativa** = 630 kW

**Preativa** = 264,38 kVAr

O resultado foi um FP de 0,92, portanto é o suficiente para evitar multas da concessionária, porém, foram dimensionados os bancos de capacitores necessários para corrigir o fator de potência das áreas 1 e 2, para serem instalados futuramente, pois são as áreas que apresentam menor fator de potência para serem instalados futuramente.

A correção foi feita utilizando a tabela de correção, disponibilizada por um fabricante de banco de capacitores.

Quadro 11 - Fator de potência corrigido

LOCAL	Pativa (kW)	Preativa (kVAR)	FP	FP Desejado	Fator multiplicador (Segundo tabela)	kVAR Necessário	Modelo Escolhido
ÁREA 1	262	140,7413972	0,88	0,92	0,114	29,87	BCW30V40 T WEG 30 kVAR
ÁREA 2	103	58,97489192	0,87	0,92	0,141	14,52	BCWP15V25DV25T WEG 15 kVAR

Fonte: Autoria do grupo

Figura 39 - Fator de potência

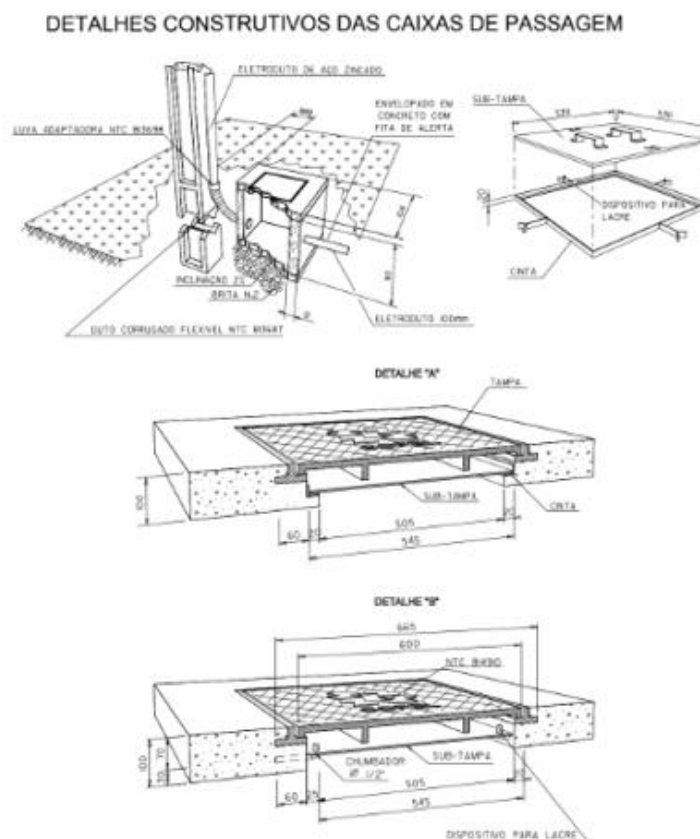
		FATOR DE POTÊNCIA DESEJADO																				
		0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,000
FATOR DE POTÊNCIA ORIGINAL	0,50	0,982	1,008	1,034	1,060	1,086	1,112	1,139	1,165	1,192	1,220	1,248	1,276	1,306	1,337	1,369	1,403	1,440	1,481	1,529	1,590	1,600
	0,51	0,937	0,963	0,989	1,015	1,041	1,067	1,093	1,120	1,147	1,174	1,202	1,231	1,261	1,291	1,324	1,358	1,395	1,436	1,484	1,544	1,554
	0,52	0,893	0,919	0,945	0,971	0,997	1,023	1,049	1,076	1,103	1,130	1,158	1,187	1,217	1,247	1,280	1,314	1,351	1,392	1,440	1,500	1,510
	0,53	0,850	0,876	0,902	0,928	0,954	0,980	1,007	1,033	1,060	1,088	1,116	1,144	1,174	1,205	1,237	1,271	1,308	1,349	1,397	1,458	1,468
	0,54	0,809	0,835	0,861	0,887	0,913	0,939	0,965	0,992	1,019	1,046	1,074	1,103	1,133	1,163	1,196	1,230	1,267	1,308	1,356	1,416	1,426
	0,55	0,768	0,794	0,820	0,846	0,873	0,899	0,925	0,952	0,979	1,006	1,034	1,063	1,092	1,123	1,156	1,190	1,227	1,268	1,315	1,376	1,386
	0,56	0,729	0,755	0,781	0,807	0,834	0,860	0,886	0,913	0,940	0,967	0,995	1,024	1,053	1,084	1,116	1,151	1,188	1,229	1,276	1,337	1,347
	0,57	0,691	0,717	0,743	0,769	0,796	0,822	0,848	0,875	0,902	0,929	0,957	0,986	1,015	1,046	1,079	1,113	1,150	1,191	1,238	1,299	1,309
	0,58	0,655	0,681	0,707	0,733	0,759	0,785	0,811	0,838	0,865	0,892	0,920	0,949	0,979	1,009	1,042	1,076	1,113	1,154	1,201	1,262	1,272
	0,59	0,618	0,644	0,670	0,696	0,723	0,749	0,775	0,802	0,829	0,856	0,884	0,913	0,942	0,973	1,006	1,040	1,077	1,118	1,165	1,226	1,236
	0,60	0,583	0,609	0,635	0,661	0,687	0,714	0,740	0,767	0,794	0,821	0,849	0,878	0,907	0,938	0,970	1,005	1,042	1,083	1,130	1,191	1,201
	0,61	0,549	0,575	0,601	0,627	0,653	0,679	0,706	0,732	0,759	0,787	0,815	0,843	0,873	0,904	0,936	0,970	1,007	1,048	1,096	1,157	1,167
	0,62	0,515	0,541	0,567	0,593	0,620	0,646	0,672	0,699	0,726	0,753	0,781	0,810	0,839	0,870	0,903	0,937	0,974	1,015	1,062	1,123	1,133
	0,63	0,483	0,509	0,535	0,561	0,587	0,613	0,639	0,666	0,693	0,720	0,748	0,777	0,807	0,837	0,870	0,904	0,941	0,982	1,030	1,090	1,100
	0,64	0,451	0,477	0,503	0,529	0,555	0,581	0,607	0,634	0,661	0,688	0,716	0,745	0,775	0,805	0,838	0,872	0,909	0,950	0,998	1,058	1,068
	0,65	0,419	0,445	0,471	0,497	0,523	0,549	0,576	0,602	0,629	0,657	0,685	0,714	0,743	0,774	0,806	0,840	0,877	0,919	0,966	1,027	1,037
	0,66	0,388	0,414	0,440	0,466	0,492	0,519	0,545	0,572	0,599	0,626	0,654	0,683	0,712	0,743	0,775	0,810	0,847	0,888	0,935	0,996	1,006
	0,67	0,358	0,384	0,410	0,436	0,462	0,488	0,515	0,541	0,568	0,596	0,624	0,652	0,682	0,713	0,745	0,779	0,816	0,857	0,905	0,966	0,976
	0,68	0,328	0,354	0,380	0,406	0,432	0,459	0,485	0,512	0,539	0,566	0,594	0,623	0,652	0,683	0,715	0,750	0,787	0,828	0,875	0,936	0,946
	0,69	0,299	0,325	0,351	0,377	0,403	0,429	0,456	0,482	0,509	0,537	0,565	0,593	0,623	0,654	0,686	0,720	0,757	0,798	0,846	0,907	0,917
	0,70	0,270	0,296	0,322	0,348	0,374	0,400	0,427	0,453	0,480	0,508	0,536	0,565	0,594	0,625	0,657	0,692	0,729	0,770	0,817	0,878	0,888
	0,71	0,242	0,268	0,294	0,320	0,346	0,372	0,398	0,425	0,452	0,480	0,508	0,536	0,566	0,597	0,629	0,663	0,700	0,741	0,789	0,849	0,859
	0,72	0,214	0,240	0,266	0,292	0,318	0,344	0,370	0,397	0,424	0,452	0,480	0,508	0,538	0,569	0,601	0,635	0,672	0,713	0,761	0,821	0,831
	0,73	0,186	0,212	0,238	0,264	0,290	0,316	0,343	0,370	0,396	0,424	0,452	0,481	0,510	0,541	0,573	0,608	0,645	0,686	0,733	0,794	0,804
0,74	0,159	0,185	0,211	0,237	0,263	0,289	0,316	0,342	0,369	0,397	0,425	0,453	0,483	0,514	0,546	0,580	0,617	0,658	0,706	0,766	0,776	
0,75	0,132	0,158	0,184	0,210	0,236	0,262	0,289	0,315	0,342	0,370	0,398	0,426	0,456	0,487	0,519	0,553	0,590	0,631	0,679	0,739	0,749	
0,76	0,105	0,131	0,157	0,183	0,209	0,235	0,262	0,288	0,315	0,343	0,371	0,400	0,429	0,460	0,492	0,526	0,563	0,605	0,652	0,713	0,723	
0,77	0,079	0,105	0,131	0,157	0,183	0,209	0,235	0,262	0,289	0,316	0,344	0,373	0,403	0,433	0,466	0,500	0,537	0,578	0,626	0,686	0,696	
0,78	0,052	0,078	0,104	0,130	0,156	0,183	0,209	0,236	0,263	0,290	0,318	0,347	0,376	0,407	0,439	0,474	0,511	0,552	0,599	0,660	0,670	
0,79	0,026	0,052	0,078	0,104	0,130	0,156	0,183	0,209	0,236	0,264	0,292	0,320	0,350	0,381	0,413	0,447	0,484	0,525	0,573	0,634	0,644	
0,80	0,000	0,026	0,052	0,078	0,104	0,130	0,157	0,183	0,210	0,238	0,266	0,294	0,324	0,355	0,387	0,421	0,458	0,499	0,547	0,608	0,618	
0,81		0,000	0,026	0,052	0,078	0,104	0,131	0,157	0,184	0,212	0,240	0,268	0,298	0,329	0,361	0,395	0,432	0,473	0,521	0,581	0,591	
0,82			0,000	0,026	0,052	0,078	0,105	0,131	0,158	0,186	0,214	0,242	0,272	0,303	0,335	0,369	0,406	0,447	0,495	0,556	0,566	
0,83				0,000	0,026	0,052	0,079	0,105	0,132	0,160	0,188	0,216	0,246	0,277	0,309	0,343	0,380	0,421	0,469	0,530	0,540	
0,84					0,000	0,026	0,053	0,079	0,106	0,134	0,162	0,190	0,220	0,251	0,283	0,317	0,354	0,395	0,443	0,503	0,513	
0,85						0,000	0,026	0,053	0,080	0,107	0,135	0,164	0,194	0,225	0,257	0,291	0,328	0,369	0,417	0,477	0,487	
0,86							0,000	0,027	0,054	0,081	0,109	0,138	0,167	0,198	0,230	0,265	0,302	0,343	0,390	0,451	0,461	
0,87								0,000	0,027	0,054	0,082	0,111	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,316	0,364	0,424	0,434	
0,88									0,000	0,027	0,055	0,084	0,114	0,145	0,177	0,211	0,248	0,289	0,337	0,397	0,407	
0,89										0,000	0,028	0,057	0,086	0,117	0,149	0,184	0,221	0,262	0,309	0,370	0,380	
0,90											0,000	0,029	0,058	0,089	0,121	0,156	0,193	0,234	0,281	0,342	0,352	
0,91												0,000	0,030	0,060	0,093	0,127	0,164	0,205	0,253	0,313	0,323	
0,92													0,000	0,031	0,063	0,097	0,134	0,175	0,223	0,284	0,294	
0,93														0,000	0,032	0,067	0,104	0,145	0,192	0,253	0,263	
0,94															0,000	0,034	0,071	0,112	0,160	0,220	0,230	
0,95																0,000	0,037	0,078	0,126	0,186	0,196	
0,96																	0,000	0,041	0,089	0,149	0,159	
0,97																		0,000	0,048	0,108	0,118	
0,98																			0,000	0,061	0,071	
0,99																				0,000	0,010	

Fonte: Engematec

## 2.10 Especificação do tipo de subestação

Para a escolha de entrada de serviço optou-se pela entrada de serviço subterrânea. Conforme estabelecido pela Copel NTC 903100, essa escolha se justifica pela maior segurança operacional, menor impacto visual e proteção dos condutores contra intempéries e danos externos, garantindo maior confiabilidade e longevidade ao sistema elétrico da indústria. O projeto de entrada de serviço subterrâneo atende as necessidades de demanda da indústria de papel.

Figura 40 - Caixas de passagem



**Notas:**

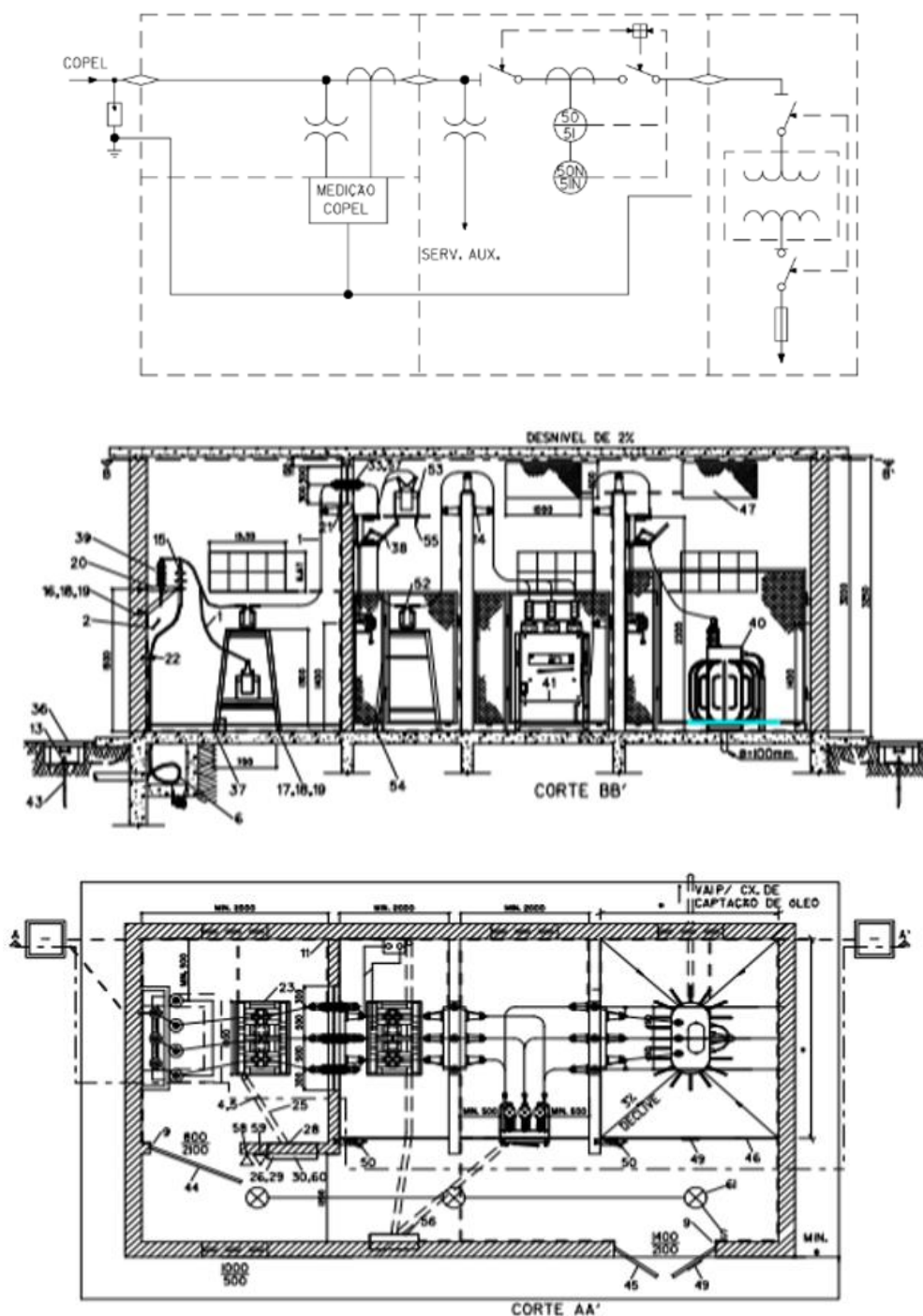
- 1- Paredes em tijolos maciços de 1ª categoria, tipo 2, assentados com argamassa de cimento, traço 1:6.
- 2- Fundo em concreto simples sobre o solo, com resistência mínima à compressão de 180 kgf/cm², em 28 dias, bem apiloado.
- 3- Revestimento interno (chapisco e emboço) com argamassa de cimento e areia, traço 1:4, espessura de 10 mm, acabamento áspero à desempenadeira.
- 4- Para a drenagem, o fundo deverá ter inclinação de 2% em sentido ao furo ou camada de brita sob o fundo da caixa.
- 5- Ferragem de ferro fundido ou alumínio.
- 6- Em qualquer das alternativas, a tampa e sub-tampa deverão possuir as mesmas medidas.
- 7- Os lacres poderão ser conectados no aro da caixa ou nos chumbadores.

Fonte: : Copel NTC 903100



A entrada de serviço subterrânea exige caixas de passagem para a acomodação e proteção dos cabos. Essas caixas de passagem são projetadas para garantir a segurança dos circuitos de alimentação e facilitar as manutenções futuras, seguindo padrões construtivos estabelecidos pela NTC 903100 para garantir durabilidade e segurança.

Figura 41 - Subestação



Fonte: Copel NTC 903100

A caixa de passagem leva os condutores de alimentação até um abrigo, esse abrigo é projetado para abrigar os módulos de medição, equipamentos de proteção, transformadores de corrente, transformador de potencial e um transformador de potência, considerando uma instalação de 1000 kVA com relés secundários, conforme a NTC 903100 da Copel. Esta cabine é crucial para a segurança e o controle do sistema, garantindo a proteção dos equipamentos e a medição adequada do consumo de energia.

2.11 Transformador

A partir da tabela de cargas, deve se escolher também o modelo ideal de transformador para atender a alimentação da indústria de papel. O mercado disponibiliza diversos transformadores, o de escolha do grupo responsável foi o Transformador de potência a Seco 1000.0kVA

Figura 42 - Transformador Seco 1000.0kVA 13.8/0.38kV CST IP -00 NA



Fonte: WEG

Figura 43 - Dados Técnicos Transformador Seco

Transformador Seco 1000.0kVA 13.8/0.38kV CST IP -00 NA			
Potência	1000 kva	Fator K	K1
Tensão Nominal AT	13.8 kv	Tipo Comutação	CST
Tensão Nominal BT	0.38kv	Taps	4x0,6 kV
Grau de Proteção	IP-00	Classe temperatura material isolante	F (155 °C)
Forma construtiva NBI (AT)	Seco	Refrigeração	AN
NBI (AT)	95.0 kV	Material dos condutores AT/BT	Al/Al
Norma	NBR 5356-11	Elevação temperatura dos enrolamentos média	100.0 °C
Frequência	60 Hz	Elevação de temperatura dos enrolamentos no ponto má	115.0 °C
Grupo Ligação Wt	Dyn1	Impedância	6.0 %
Fase	Trifásico	Perdas em vazio	2.9 kW
Instação	Abrigado	Perdas totais	2.9 kW
Altitude Máxima de Instalação	1000.0 m	Corrente de excitação	1.5 %
Atmosfera	Não agressiva	Nível de ruído	64.0 dB
Temperatura ambiente máxima	40.0 °C	Descargas parciais	10.0 pC

Fonte: WEG










A escolha do transformador foi baseada no cálculo da demanda total do projeto, que resultou em um valor de 685kVA, entretanto deve-se considerar um fator de segurança de 25 a 30% (Fator de segurança = 1.25), com isso valor real da demanda corrigido resultou em 872.5 kVA. Desse modo, a escolha do transformador para atender a indústria de papel deve ter potência superior a 872.5 kVA. O transformador mais próximo que atende esse valor é o transformador de 1000 kVA.

Além disso, outros fatores para a escolha do transformador a seco foram a segurança, manutenção e dimensões frente a ambientes abrigados. De acordo com a NBR 5356-11 (ABNT, 2021), transformadores a seco são frequentemente preferidos em instalações abrigadas, especialmente em ambientes comerciais e industriais, devido à sua segurança contra incêndios. Como não contêm óleo, eliminam o risco de vazamentos e incêndios associados ao óleo. Portanto, a escolha se passou pela não utilização do óleo, já que o mesmo traz fatores negativos em ambientes abrigados, o que não é interessante para área industrial projetada.

Segue abaixo a especificação sumária de todos os equipamentos necessários e requisitados obrigatoriamente pela Copel, respeitando todos os valores mínimos impostos pela NTC 903100.




Quadro 12 - Especificação componentes subestação

Imagem do produto	Nome	Especificações		Link do Produto
	Para-Raio Polimérico	Tipo	Polimerico	<a href="#">Para Raio Polimérico</a>
		Material	Oxido De Zinco	
		Tensão	15 KV	
		Carga Ruptura Aplicação	10 KA	
		Dimensões	346x263.5x101 (Milímetro Quadrado)	
		Fabricante	Plenobras	
	Bucha de Passagem Interna/Externa	Tensão	15 kv	<a href="#">Bucha de Passagem</a>
		Corrente	100 A	
		Marca	Lebasi	
	Transformador de potência seco	Potência	1000 KVA	<a href="#">Transformador</a>
		Tensão Nominal AT	13.8 KV	
		Tensão Nominal BT	0.38 KV	
		Frequência	60 Hz	
		Fase	Trifásico	
		Instalação	Abrigada	
		Impedância	6.0%	
		Norma	NBR 5356-11	
	Chave Seccionadora	Tensão	17.5 KV	<a href="#">Chave Seccionadora</a>
		Corrente	630 A	
		Frequência		
		Valor de Crista Nominal da Corrente	82 KA	
		Tensão suportável de impulso atmosférico	95/110 KV	
		Operação	manual	
		Código do produto	1YMX001224M3104	
		Fabricante	ABB	

	Transformador de Potencial	Uso	Interno	<a href="#">Transformador de Potencial</a>
		Tensao Máxima	15 KV	
		Frequência	60 Hz	
		Nivel de isolamento	95 kV	
		Tensao primária	13.8 KV	
		Tensao Secundaria	115/220 V	
		Relação nominal	120:1	
		Meio dielétrico	Epoxi	
		Grupo de Ligação	1	
		Marca	Mult Inst	
	Transformador de Corrente	Tensão	15 kv	<a href="#">Transformador de Corrente</a>
		Corrente Primária	100	
		Isolação	Epoxi	
		uso	Interno	
		Frequência	60 Hz	
		Nivel de isolamento	95 KV	
		Corrente Secundária	5 A	
		Marca	Brasformer Braspel	
	Mufla Terminal (15KV)	Uso	Interno	<a href="#">Mufla Terminal</a>
		Tensão aplicada a frequência industrial sob chuva (CA) - 1 minuto	60	
		Tensão impulsiva (1,2 x 50) us (10+, 10-)	150	
		Descargas parciais (sensibilidade <5pC) V extinção>	19	
		Ciclos térmicos 95°C sob tensão de 1,8Vo - ciclos de 8 horas	80 ciclos	
		Ensaio de curto-circuito térmico	até 250°C	
		Marca	Prysmian	

Fonte: Autoria do grupo

Quadro 13 - Especificação sumária componentes subestação

	Disjuntor de MT	Tensão de Teste Dielétrica	17.5 KV	<a href="#">Disjuntor de MT</a>
		Tensão estipulada de isolamento à frequência industrial (Ud)	38 KV	
		Frequência	60 Hz	
		Corrente estipulada em regime contínuo	630 A	
		Corrente estipulada de corte em curto circuito	25 KA	
		Duração estipulada de curto circuito	3 s	
		DC time constant	45 ms	
		modelo	EXE 172506K1B	
		Marca	Schneider Electric	
	Rele de proteção Multifunção 50/51 e 50N/51N	Tensão	72...250 Vca / Vcc	<a href="#">Rele De Proteção URPE 7104T 50/51</a>
		Corrente	5 A	
		Frequência	60 Hz	
		Marca	Pextron	
		Tensão Auxiliar/Tempo	110Vca/1.7s	
		Isolação das entradas	2000 V	
		Modelo	URPE 7104T	
		Tipo	50/51 e 50N/51N	<a href="#">Parâmetros e Ajustes do Rele</a>
		-	-	
		-	-	
		-	-	
		-	-	
	Disjuntor de BT	Corrente Nominal	1600 A	<a href="#">Disjuntor Siemens</a>
		Corrente de Curto Circuito	55 KA	
		Tensão Nominal	380 V	
		Número de Polos	3	
		Operação	manual e/ou motorizada	
		Tipo de Unidade de Disparo	Eletrônica	
		Especificações	ACB - Air Circuit Breaker	
		Marca	Siemens	
		Fase	Trifásico	
		Modelo	3WL	
		Capacidade de Interrupção	100%	

Fonte: Autoria do grupo

## 2.12 Luminotécnico

O projeto luminotécnico foi desenvolvido para a área A1, designada como escritório comum, com dimensões de 20 metros de comprimento por 15 metros de largura. As características do ambiente, que influenciam diretamente no cálculo e na distribuição da luz, incluem teto de superfície branca, paredes claras e pisos escuros. O objetivo principal deste projeto foi garantir um nível de iluminação adequado para a atividade de escritório, atendendo aos requisitos de iluminância média estabelecidos pela norma NBR ISO/CIE 8995-1 para escritórios.

Para a elaboração e simulação do projeto, foi utilizado o software DIALux evo, uma ferramenta padrão da indústria que permite análises precisas da distribuição luminosa e dos resultados quantitativos.

Figura 44 - Dados luminotécnico

<b>Categoria</b>	<b>Valor/Descrição</b>
Área	20 m / 15 m
Atividade	Escritório Comum
Pé-direito	4.60 m
Plano de Trabalho	1 m
Plano de Trabalho	0,8 m
Altura da montagem da luminaria	2.80 m
Reflectância - Teto	70% - Branca
Reflectância - Parede	50% - Clara
Reflectância - Piso	10% - Escura
Fator de Manutenção	0.67

Fonte: Autoria do grupo

Figura 45 - Dados lâmpada

<b>Tipo de Lâmpada</b>	<b>Fluorescente Tubular</b>
Fluxo Luminoso da Luminária	7.938 lm
Potência por Luminária	128 W
Rendimento Luminoso	76.0 %

Fonte: Autoria do grupo

Foram selecionadas luminárias que utilizam lâmpadas fluorescentes de 4x32W. O posicionamento das luminárias foi otimizado para assegurar uma distribuição homogênea da luz em todo o ambiente.

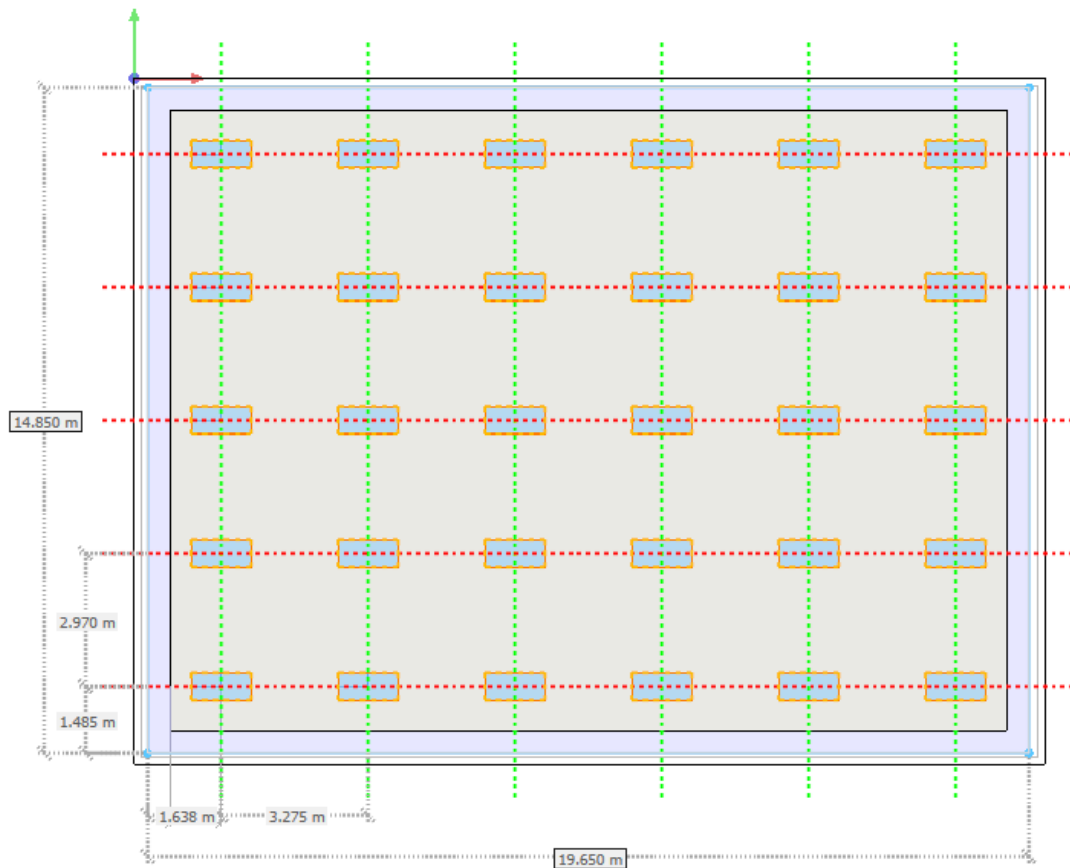
Para a elaboração e análise do projeto luminotécnico no software DIALux evo, utilizou-se como referência a norma Europa (EN 12464-1:2021), que trata da iluminação de locais de trabalho. Embora a norma brasileira NBR ISO/CIE 8995-1 não estejam diretamente integrada aos perfis padrão do software, a EN 12464-1:2021 é uma das normas mais completas, atualizadas e internacionalmente reconhecidas para a qualidade da iluminação em ambientes profissionais.

Figura 46 - Resultados simulação

Resultados da Simulação	
Software Utilizado	DIALux evo
Norma de Referência	EN 12464-1:2021
Número de Luminárias	30 unidades
Iluminância Média (Em)	561 lx
Uniformidade (U0)	0.63
Potência Total Instalada	3.840 W
Potência Específica de Iluminação (PEI)	2.8 W/m <sup>2</sup>
Ofuscamento (UGR)	19

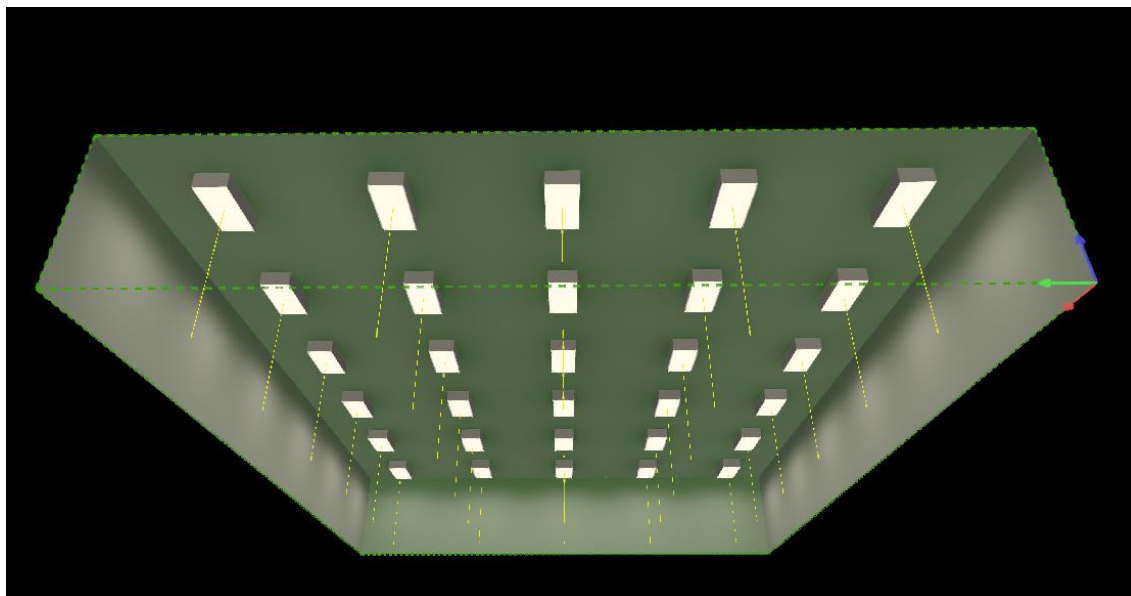
Fonte: Autoria do grupo

Figura 47 - Disposição luminárias



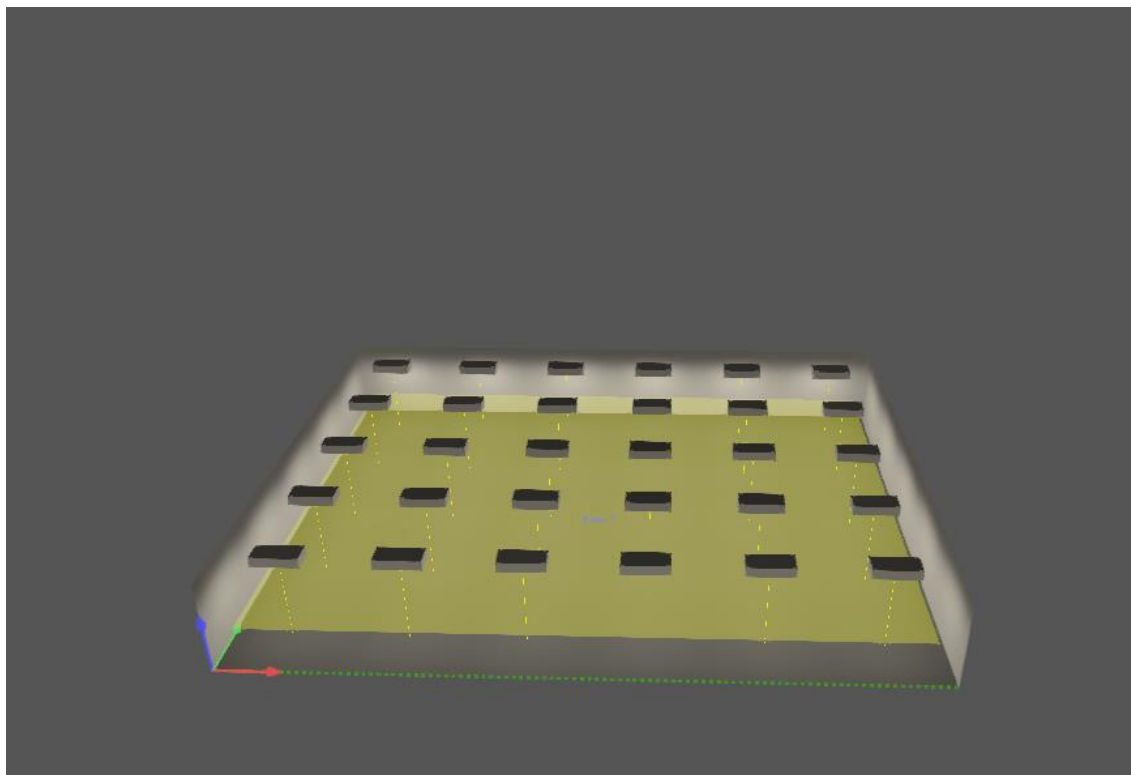
Fonte: Autoria do grupo

Figura 48 - Visão simulação inferior



Fonte: Autoria do grupo

Figura 49 - Visão simulação superior



Fonte: Autoria do grupo

### **3 CONCLUSÃO**

O projeto apresentado permitiu o desenvolvimento completo de um sistema elétrico industrial, desde o levantamento de dados iniciais até a definição dos componentes essenciais, como transformadores, condutores, disjuntores, inversores. As escolhas técnicas foram baseadas em normas vigentes, especialmente a NBR 5410 e catálogos de fabricantes, de forma a garantir segurança, eficiência e conformidade com os requisitos operacionais da indústria. A análise de curto-circuito e o dimensionamento do sistema luminotécnico complementaram o estudo, onde foi possível realizar a simulação em softwares como o Dialux e o PSP-UFU, para complementar o estudo. Assim, o trabalho demonstrou a importância da integração entre teoria e prática do conteúdo visto em aula e ao decorrer do curso.

#### 4 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

**GOMES, Caroline Fernandes da Silva; SANTOS, Victor Souza dos; VIEIRA, Guilherme Pires; PIRES, Rachel Cristina Santos; FARIAS, Bruno Matos de.** A importância da elaboração de um projeto de instalações elétricas e seus requisitos normativos. *Epitaya E-Books*, v. 1, n. 15, p. 71–86, 2020. Disponível em: <https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/97>. Acesso em: 2 jun. 2025

**SILVA, Iago de Melo; ALMEIRA, Brayan Lima de; SILVA, Sabrina Oliveira; FERNANDES, Márcio da Silva.** A importância do projeto elétrico e a análise da execução na cidade de Paracatu-MG. Anais do 1º Simpósio de TCC das Faculdades FINOM e Tecsoma, Paracatu, MG, 2019. p. 892–902. Disponível em: <https://www.finom.edu.br/assets/uploads/cursos/tcc/2021042217042012.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2025

**WEG.** *Motor elétrico trifásico W22 IR3 Premium: catálogo técnico*. Jaraguá do Sul: WEG, 2022. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h94/h69/WEG-w22-motor-eletrico-trifasico-50023622-brochure-portuguese-web.pdf>. Acesso em: 3 jun. 2025.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** *NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** *NBR 5356-11: Transformadores de potência – Parte 11: Transformadores do tipo seco – Especificação*. Rio de Janeiro: ABNT, 2016

**KRUGER, Tarcísio Pollnow.** *Dimensionamento de condutores*. São José: Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), 2016. Disponível em: [https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/4/47/Dimensionamento\\_Condutores.pdf](https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/4/47/Dimensionamento_Condutores.pdf). Acesso em: 1 jun. 2025

**SIEMENS.** Siemens Brasil. Disponível em: <https://www.siemens.com/br/pt.html>. Acesso em: 20 mai. 2025

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).** **NBR 14039:** instalações elétricas de média tensão, de 1,0 kV a 36,2 kV. Rio de Janeiro, 2005.

**WEG.** **CFW11:** catálogo de inversores de frequência. [S. l.]: WEG, 2020. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h88/h14/WEG-CFW11-catalogo-10510201-pt.pdf>. Acesso em: 3 jun. 2025



WEG. **Manual do Usuário CFW11**: inversores de frequência modelos Mec-F a H. [S. l.]: WEG, [ano de publicação]. Disponível em: <https://www.servicedrive.com.br/wp-content/uploads/Manual-do-Usuário-CFW11-Mec-F-a-H-PTBR-ServiceDrive-19-3012-6360.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2025

MORETTI, José Carlos. *NTC 903100: Fornecimento em tensão primária de distribuição*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013. Disponível em: [http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/eletrificacao\\_rural/livro\\_copel\\_ntc\\_903100.pdf](http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/eletrificacao_rural/livro_copel_ntc_903100.pdf). Acesso em: 5 jun. 2025.