



CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO HERMÍNIO OMETTO

NÚCLEO DE ENGENHARIA

ENGENHARIA ELÉTRICA

PROJETOS DE SISTEMAS ELÉTRICOS

Projeto final

Alunos:

Gabriel Pastre

RA: 109609

Gustavo Rodrigues Verdu

RA: 110407

Pedro Lucas Rossi

RA: 109261

Araras–SP, 6 de junho de 2025

Conteúdo

1	Introdução	3
2	Normas Técnicas	4
2.1	Normas ABNT	4
2.2	Normas da Concessionária (Light – RJ)	4
3	Levantamento de Cargas por Setor	5
3.1	Cargas no Setor 1	5
3.2	Cargas no Setor 2	5
3.3	Cargas no Setor 3	5
4	Análise de Correção do Fator de Potência	6
4.1	Diagnóstico do Sistema	6
4.2	Avaliação por Setor	6
4.2.1	Setor 1	6
4.2.2	Setor 2	6
4.2.3	Setor 3	6
4.3	Análise do Sistema Completo	7
4.4	Benefícios da Correção	7
4.5	Recomendações Técnicas	7
5	Dimensionamento de Condutores em Baixa Tensão (Áreas)	8
6	Dimensionamento de disjuntores	9
7	Dimensionamento de Ramais do QGF às Áreas e Escolha de Disjuntores BT	10
8	Transformador	12
8.1	Especificação Sumária	12
8.2	Transformador Escolhido	12
9	Seleção de Chaves de Partida	14
9.1	Menor Motor – Motor 5 (20 cv)	14
9.2	Maior Motor – Motor 4 (150 cv)	15
10	Estudo de Curto-Circuito	17
10.1	Impedâncias no Ponto de Entrega	17
10.2	Cálculo do Curto-Circuito no Ponto de Entrega	17
10.3	Análise no Secundário do Transformador	18

10.4	Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT)	18
10.5	Barramentos 1, 2 e 3	18
10.6	Considerações Finais	18
11	Projeto Luminotécnico – Área A1	24
11.1	Dados Iniciais	24
11.2	Cálculo do Número de Luminárias	24
11.3	Disposição e Espaçamento das Luminárias	25
11.4	Resumo do Projeto Luminotécnico	26
12	Conclusão	27
13	Referências	28
	Referências Bibliográficas	28

1 Introdução

Este relatório apresenta o desenvolvimento completo de um projeto de instalações elétricas industriais para uma unidade fabril situada no estado do Rio de Janeiro, contemplando desde o levantamento de cargas até a escolha e especificação de subestação e dispositivos de proteção. O trabalho foi desenvolvido conforme as normas técnicas da ABNT (principalmente NBR 5410 e NBR 5413) e diretrizes da concessionária local (Light – RJ), assegurando conformidade com requisitos regulatórios e operacionais.

O projeto abrange os principais aspectos de dimensionamento elétrico, incluindo: análise de carga por setor, dimensionamento de condutores e disjuntores, escolha do transformador, estudo de curto-circuito e definição de sistemas de partida para motores. Considerou-se, ainda, a temperatura ambiente máxima de 44 °C, característica da região, fator essencial para o correto dimensionamento térmico dos cabos e a aplicação dos fatores de correção conforme a NBR 5410.

Além disso, foi elaborado um projeto luminotécnico da área A1 e priorizado segurança, eficiência energética e viabilidade técnica. O objetivo é garantir uma instalação segura, confiável e apta a futuras ampliações.

2 Normas Técnicas

2.1 Normas ABNT

- **NBR 5410:** Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- **NBR IEC 60364-1:** Instalações elétricas de baixa tensão – Fundamentos e critérios.
- **NBR 5413:** Iluminância de Ambientes Internos.
- (outras normas, conforme aplicável)

2.2 Normas da Concessionária (Light – RJ)

- **RECON-BT (2024):** Regulamentação de Entradas Coletivas e Individuais – Light S.E.S.A.
- **PROCT (2020):** Procedimento para Entradas de Rede de Distribuição Subterrânea – Light.
- **PADRÃO DE ENTRADA – TELEMEDIÇÃO (2023).**
- **GLOSSÁRIO RECON-BT (2025).**

3 Levantamento de Cargas por Setor

3.1 Cargas no Setor 1

Tabela 1: Cargas do Setor 1

Carga	Modelo	cv	FP	η	P (kW)	Q (kVAr)	S (kVA)	I_{380} (A)
Motor 1	W22 IR3 Premium	50	0,87	0,93	39,54	22,41	45,45	69,06
Motor 2	W22 IR3 Premium	75	0,88	0,945	97,29	52,51	110,55	167,98
Motor 3	W22 IR3 Premium	30	0,87	0,92	23,98	13,59	27,57	41,89
Motor 4	W22 IR3 Premium	150	0,89	0,95	116,13	59,50	130,48	198,26

3.2 Cargas no Setor 2

Tabela 2: Cargas do Setor 2

Carga	Modelo	cv	FP	η	P (kW)	Q (kVAr)	S (kVA)	I_{380} (A)
Motor 5	W22 IR3 Premium	20	0,86	0,91	16,16	9,59	18,80	28,56
Motor 6	W22 IR3 Premium	75	0,88	0,935	59,00	31,84	67,04	101,86
Motor 7	W22 IR3 Premium	30	0,87	0,92	23,98	13,59	27,57	41,89

3.3 Cargas no Setor 3

Tabela 3: Cargas do Setor 3

Carga	FP	P (kW)	Q (kVAr)	S (kVA)	I_{380} (A)
Auxiliar 1	0,92	75	31,95	81,52	123,86
Auxiliar 2	0,92	75	31,95	81,52	123,86
Aquecimento 1	1,00	30	0	30,00	45,58
Aquecimento 2	1,00	25	0	25,00	37,98
Aquecimento 3	1,00	40	0	40,00	60,78

4 Análise de Correção do Fator de Potência

4.1 Diagnóstico do Sistema

A análise do sistema elétrico em questão revelou a necessidade de correção do fator de potência em determinados setores, conforme apresentado na Tabela 4. O fator de potência é um indicador fundamental da eficiência energética, representando a relação entre a potência ativa (que realiza trabalho útil) e a potência aparente total do sistema.

Tabela 4: Análise do fator de potência por setor

Setor	FP Atual	Ângulo Atual (°)	Potência Ativa (kW)	Correção Necessária?	FP Desejado	Q_{corr} (kVAr)	Banco Comercial
1	0,88	28,36	276,95	Sim	0,92	31,50	35 kVAr
2	0,87	29,54	99,15	Sim	0,92	13,95	15 kVAr
3	0,95	18,19	245,00	Não	0,95	0,00	-
Sistema completo	0,906	25,04	621,10	Sim	0,92	25,53	25 kVAr

4.2 Avaliação por Setor

4.2.1 Setor 1

O Setor 1 apresenta fator de potência de 0,88, valor inferior ao limite mínimo estabelecido pela ANEEL (0,92). Com uma potência ativa de 276,95 kW e ângulo de defasagem de 28,36°, este setor demanda correção através da instalação de um banco de capacitores de 31,50 kVAr. Para aplicação prática, recomenda-se a utilização de um banco comercial de 35 kVAr, que proporcionará margem adequada de correção.

4.2.2 Setor 2

Similarmente, o Setor 2 opera com fator de potência de 0,87, também abaixo do valor regulamentado. Com potência ativa de 99,15 kW e ângulo de 29,54°, necessita de correção através de banco de capacitores de 13,95 kVAr. O banco comercial recomendado é de 15 kVAr, adequado às necessidades deste setor.

4.2.3 Setor 3

O Setor 3 apresenta condição satisfatória com fator de potência de 0,95, superior ao limite regulamentado. Com ângulo de defasagem de apenas 18,19° e potência ativa de 245 kW, este setor não requer correção adicional, mantendo-se dentro dos padrões de eficiência energética estabelecidos.

4.3 Análise do Sistema Completo

A avaliação global do sistema revela fator de potência de 0,906, ligeiramente inferior ao valor mínimo exigido de 0,92. O sistema completo, com potência ativa total de 621,10 kW e ângulo de defasagem de $25,04^\circ$, pode ser adequadamente corrigido através da instalação de um banco de capacitores centralizado de 25 kVAr.

4.4 Benefícios da Correção

A implementação dos bancos de capacitores propostos resultará em:

- **Adequação regulamentária:** Elevação do fator de potência para 0,92, atendendo às exigências da ANEEL e evitando penalidades tarifárias
- **Redução de perdas:** Diminuição das perdas por efeito Joule nos condutores devido à redução da corrente reativa
- **Melhoria da qualidade energética:** Otimização do aproveitamento da capacidade instalada dos transformadores e equipamentos
- **Economia financeira:** Eliminação de multas por baixo fator de potência e possível redução na demanda contratada

4.5 Recomendações Técnicas

Para a implementação dos bancos de capacitores, recomenda-se:

1. Instalação de bancos automáticos com controladores de fator de potência para otimização contínua
2. Proteção adequada através de fusíveis e contadores específicos para cargas capacitivas
3. Monitoramento periódico do fator de potência para verificação da eficácia da correção
4. Consideração de harmônicos no sistema, especialmente na presença de cargas não-lineares

5 Dimensionamento de Condutores em Baixa Tensão (Áreas)

Para todos os circuitos, foram utilizados cabos de cobre isolados em XLPE e revestidos em PVC, instalados pelo método B1 (eletroduto aparente), conforme RECON-BT 2024 [?]. A tensão de serviço adotada é de 380 V trifásicos. A temperatura ambiente de projeto foi 44 °C, resultando em Fator de Correção de Temperatura $F_{CT} = 0,87$ (NBR 5410 [?]). O Fator de Agrupamento F_{CA} varia conforme o número de condutores de fase em cada eletroduto: $F_{CA} = 0,80$ para dois cabos de fase agrupados e $F_{CA} = 1,00$ para cabo único.

O critério de ampacidade exige:

$$I_z \geq \frac{I_n}{F_{CT} \times F_{CA}},$$

em que I_n é a corrente nominal do equipamento a 380 V e I_z a corrente admissível do cabo (corrigida para XLPE/PVC 70 °C, método B1). A queda de tensão, verificada na Seção 5, não excede 5% de 380 V.

Na Tabela 5 estão resumidos, para cada carga, a potência aparente, os fatores aplicados, a corrente nominal, a corrente corrigida, a seção inferida pela ampacidade, a seção requerida para queda de tensão, a seção mínima resultante e, finalmente, a seção adotada em projeto.

Tabela 5: Dimensionamento de Condutores por Carga (XLPE/PVC, Método B1)

Carga	P_{mec}	P_{app}	F_{CA}	F_{CT}	I_n	I_{corr}	Cabo_{amp}	Cabo_{ΔV}	Cabo_{min}	Cabo_{adot}
Motor 1	50	45,45	0,80	0,87	69,06	99,22	25	1,77	4	25
Motor 2	125	110,55	0,80	0,87	167,98	241,34	95	4,31	4	95
Motor 3	30	27,57	0,80	0,87	41,89	108,05	10	1,07	4	10
Motor 4	150	130,48	0,80	0,87	198,26	284,85	120	5,08	4	120
Motor 5	20	18,80	0,80	0,87	28,56	41,03	6	0,73	4	6
Motor 6	75	67,04	0,80	0,87	101,86	146,36	50	2,61	4	50
Motor 7	30	27,57	1,00	0,87	41,89	48,14	10	1,07	4	10
Iluminação 1	–	81,52	0,80	0,87	123,86	177,96	70	3,18	2,5	70
Iluminação 2	–	81,52	0,80	0,87	123,86	177,96	70	3,18	2,5	70
Aquec. 1	–	30,00	0,80	0,87	45,58	65,49	10	1,00	4	10
Aquec. 2	–	25,00	0,80	0,87	37,98	54,58	10	1,00	4	10
Aquec. 3	–	40,00	1,00	0,87	60,78	69,86	16	2,00	4	16

6 Dimensionamento de disjuntores

Tabela 6: Especificações dos motores por setor

Setor	Carga	Corrente Corrigida (A)	Curva do Disjuntor	Disjuntor (A)	Modelo Siemens
1	Motor 1	99,22	D	100	3VM1110
1	Motor 2	241,34	D	250	3VM1250
1	Motor 3	48,14	D	50	5SL6350-7MB
1	Motor 4	243,83	D	250	3VM1250
2	Motor 5	41,03	D	50	5SL6350-7MB
2	Motor 6	146,35	D	150	3VM1150
2	Motor 7	48,14	D	50	5SL6350-7MB
3	Auxiliar	177,08	C	200	3VM1200
3	Auxiliar	177,08	C	200	3VM1200
3	Aquecimento 1	45,8	C	50	5SL6350-7MB
3	Aquecimento 2	64,58	C	70	5SL1370-7MB
3	Aquecimento 3	69,86	C	80	5SL1380-7MB

Tabela 7: Disjuntores QGF para áreas

Item	Corrente (A)	Curva	(kA)	Modelo Siemens Sentron
1	600	C	25	3VA2 600 C 25
2	200	C	25	3VA2 200 C 25
3	500	C	25	3VA2 500 C 25

7 Dimensionamento de Ramais do QGF às Áreas e Escolha de Disjuntores BT

Os ramais do Quadro Geral de Fábrica (QGF) até cada setor foram dimensionados com cabos de cobre isolados em XLPE e revestidos em PVC, instalados pelo método B1 (eletroduto aparente), conforme RECON-BT 2024 [?]. A tensão de serviço adotada é de 380 V trifásicos. Considerou-se temperatura ambiente de 44 °C, resultando em Fator de Correção de Temperatura $F_{CT} = 0,87$ (NBR 5410 [?]). Como cada ramal utiliza um único condutor de fase (sem agrupamento adicional), adota-se Fator de Agrupamento $F_{CA} = 1,00$.

O dimensionamento seguiu dois critérios simultâneos:

1. Ampacidade:

$$I_z \geq \frac{I_{n,\text{setor}}}{F_{CT} \times F_{CA}},$$

onde $I_{n,\text{setor}}$ é a soma das correntes nominais dos equipamentos do setor a 380 V.

2. Queda de tensão:

$$\Delta V = \sqrt{3} I_{n,\text{setor}} L \left(\frac{R \cos \varphi + X \sin \varphi}{1000} \right) \leq 0,05 \times 380 \text{ V}.$$

A partir dessa expressão, calcula-se a seção mínima $S_{\Delta V}$ (mm²) que atende à queda de tensão máxima permitida (5% de 380 V = 19 V).

Na prática, define-se a seção mínima de cada ramal como:

$$S_{\min} = \max(S_{\text{amp}}, S_{\Delta V}),$$

em que S_{amp} é a seção necessária para atender à corrente corrigida (ampacidade) e $S_{\Delta V}$ a seção para atender à queda de tensão $\leq 5\%$.

Tabela 8: Dimensionamento de Ramais do QGF às Áreas e Seleção de Disjuntores

Setor	I_n (A)	I_{corr} (A)	S_{amp} (mm ²)	$S_{\Delta V}$ (mm ²)	S_{\min} (mm ²)	Disjuntor BT
1	477,18	548,48	300	12,23	300	600 A – Curva C – 25 kA
2	172,31	198,06	70	4,42	70	200 A – Curva C – 25 kA
3	392,07	450,65	240	10,05	240	500 A – Curva C – 25 kA

Cálculos de $S_{\Delta V}$: Para cada setor, considerou-se:

$$\Delta V = \sqrt{3} I_n L \frac{R_0 \cos \varphi + X_0 \sin \varphi}{1000},$$

com $L = 30$ m e parâmetros típicos para XLPE/PVC a 70 °C (método B1). Invertendo a fórmula

para achar $S_{\Delta V}$, obteve-se:

$$S_{\Delta V} = \frac{\sqrt{3} I_n L (R_0 \cos \varphi + X_0 \sin \varphi)}{1000 \Delta V_{\max}},$$

em que $\Delta V_{\max} = 0,05 \times 380 = 19 \text{ V}$.

Valores numéricos:

- **Setor 1:** $I_n = 477,18 \text{ A} \Rightarrow S_{\Delta V} \approx 12,23 \text{ mm}^2$.
- **Setor 2:** $I_n = 172,31 \text{ A} \Rightarrow S_{\Delta V} \approx 4,42 \text{ mm}^2$.
- **Setor 3:** $I_n = 392,07 \text{ A} \Rightarrow S_{\Delta V} \approx 10,05 \text{ mm}^2$.

Como S_{amp} (300, 70 e 240 mm^2) é sempre maior que $S_{\Delta V}$, o critério de ampacidade prevaleceu em todos os setores.

Seleção dos Disjuntores BT: Para cada setor, escolheu-se disjuntor termomagnético trifásico de curva C com corrente nominal imediatamente superior a I_{corr} e capacidade de interrupção $\geq 25 \text{ kA}$:

- **Setor 1:** $I_{\text{corr}} = 548,48 \text{ A} \Rightarrow$ Disjuntor 600 A – Curva C – 25 kA.
- **Setor 2:** $I_{\text{corr}} = 198,06 \text{ A} \Rightarrow$ Disjuntor 200 A – Curva C – 25 kA.
- **Setor 3:** $I_{\text{corr}} = 450,65 \text{ A} \Rightarrow$ Disjuntor 500 A – Curva C – 25 kA.

8 Transformador

8.1 Especificação Sumária

Para atender à carga total projetada neste sistema, foi definido um transformador de distribuição com as seguintes características principais:

- **Potência Nominal:** 750 kVA.
 - Considera-se demanda total próxima a 620 kVA (potência aparente somada de todos os setores).
 - Adota-se margem de reserva de 20% para atender picos de partida e futuras ampliações ($620 \text{ kVA} \times 1,2 \approx 744 \text{ kVA}$).
 - Portanto, a potência de 750 kVA garante operação contínua sem sobrecarga.
- **Tensão Primária:** 13,8 kV (padrão de alimentação da concessionária).
 - Compatível com rede de média tensão local (Light RJ).
 - Facilita a conexão direta ao ponto de entrega da concessionária sem necessidade de postes de redução adicionais.
- **Tensão Secundária:** 0,38 kV (380V trifásico).
 - Fornece tensão trifásica para ramais de baixa tensão dimensionados em Seções 4 e 5.
 - Padronizada para alimentação dos quadros de distribuição de cada setor (QGF e sub-quadros).
- **Impedância:** 5–7% (valor padrão para manter níveis de curto-circuito adequados).
 - Impedância em torno de 5,5% limita a corrente de falta a valores compatíveis com capacidade de interrupção dos disjuntores (25 kA).
 - Garante proteção seletiva e coordenação conforme estudo de curto-circuito (Seção 7).

Em resumo, o transformador necessário ao projeto deve ser de **750 kVA**, 13,8/0,38 kV, com impedância aproximada de 5–7%. A capacidade de carga e as características garantem atendimento às correntes projetadas, coordenação de proteção e qualidade de tensão.

8.2 Transformador Escolhido

Modelo: Transformador Óleo 750,0 kVA 13,8/0,38 kV CST ONAN

- **Potência Nominal:** 750,0 kVA (compatível com o dimensionamento de carga e reserva de 20%).
- **Tensão Primária/Secundária:** 13,8 kV / 0,38 kV (atende padrão da concessionária e requisitos de baixa tensão do projeto).
- **Fator de Potência de Projeto:** 0,8 (em conformidade com cargas de motores e aquecedores).

- **Impedância:** 5,5% (valor que fornece corrente de curto-circuito primário compatível com disjuntores de 25 kA, garantindo seletividade).
- **Resfriamento:** ONAN – Óleo Natural, Ar Natural (adequado à localidade, sem necessidade de ventilação forçada).
- **Conexão:** Dyn11 (neutro aterrado, defasagem de +30°; atende requisitos de coordenação e filtragem de harmônicos).
- **Tap Changer:** Externo com 5 posições ($\pm 2,5\%$), operado a carga zero. Permite ajuste fino de tensão secundária.
- **Gabinete:** Container metálico com grau de proteção IP54 (atende RECON-BT 2024, Seção D e NBR 5356).

Justificativa Técnica da Escolha:

- A potência de 750 kVA foi selecionada com base na demanda total de 621 kVA (Seção 3), considerando margem de 20% para picos de partida e possíveis expansões futuras.
- A tensão primária de 13,8 kV garante conexão direta à rede da concessionária (Light RJ), eliminando necessidade de subestações intermediárias. A tensão secundária de 0,38 kV alimenta diretamente os quadros de baixa tensão dimensionados nas seções anteriores.
- Impedância de 5,5% se mostrou ideal para limitar a corrente de falta primária a aproximadamente 10 kA, coordenada com os disjuntores de 25 kA do QGF (Seção 7).
- O resfriamento ONAN é suficiente para cargas nominais previstas e reduz custos de manutenção, adequado ao clima quente do Rio de Janeiro (conforme NBR 5356).
- Conexão Dyn11 facilita aterramento do neutro secundário e compatibilidade com sistemas de proteção e filtragem de harmônicos industriais.
- O tap-changer externo em 5 posições permite ajustes de tensão em $\pm 2,5\%$, garantindo que variações de tensão da rede não comprometam a qualidade no secundário.
- O gabinete IP54 protege o transformador de intempéries e poeira, conforme exigido pela Light para subestações externas abrigadas (RECON-BT 2024, Seção D).
- A malha de aterramento e os acessórios de proteção (relés de sobrecorrente/diferencial) atendem às normas NBR 5410 e NBR 15749, assegurando segurança do sistema e das pessoas.

Este transformador CST ONAN de 750 kVA 13,8/0,38 kV satisfaz todos os requisitos de carga, proteção e normas técnicas aplicáveis, garantindo operação segura e confiável do sistema elétrico projetado.

9 Seleção de Chaves de Partida

Para cada motor (maior e menor) foi avaliado o dispositivo de partida adequado, considerando a aplicação mecânica específica na fábrica de papel e o impacto na rede elétrica.

9.1 Menor Motor – Motor 5 (20 cv)

O Motor 5 alimenta a esteira que transporta bobinas de papel para o setor de corte. Não há necessidade de controle de velocidade variável nem de redução de torque de partida, pois a esteira opera sempre em velocidade constante e a carga é leve. Por isso, a partida direta é a solução mais simples e econômica, sem riscos de sobrecarga na rede. Adota-se o contator modelo CWM32-00-30D33 (32 A, 3 polos, AC-3, 380 V 50/60 Hz), cuja capacidade de 32 A em categoria AC-3 suporta confortavelmente a corrente de partida do motor. A bobina de 380 V CA conecta-se diretamente à alimentação, dispensando relés de comando adicionais. A carcaça 160M confirma que o motor é de porte reduzido, adequado à aplicação.

Tabela 9: Especificação do Contator – Motor 5 (Partida Direta)

Modelo	CWM32-00-30D33, 32 A (AC-3, 380 V 50/60 Hz)
Corrente Nominal	32 A (AC-3, 380 V)
Tensão de Operação	Até 690 V CA
Tensão da Bobina	380 V CA (50/60 Hz)
Número de Polos	3 polos principais (3NA)
Contatos Auxiliares	0 NA + 0 NF (modelo “00”) – bloco auxiliar opcional
Categoria de Utilização	AC-3 (partida de motores)
Potência Máxima Suportada	Até 15 kW (20 cv) em 380 V
Fixação	Trilho DIN ou parafuso
Grau de Proteção	IP20
Temperatura Ambiente	–5 °C a +60 °C
Normas Atendidas	IEC 60947 / UL / CSA
Dimensões (L × A × P)	45 × 83 × 86 mm

9.2 Maior Motor – Motor 4 (150 cv)

O Motor 4 aciona o refinador de celulose, equipamento crítico no processo de fabricação de papel. Durante a partida do refinador, ocorre um elevado pico de torque e, consequentemente, de corrente (superior a 1000 A), o que pode causar quedas de tensão na rede e choques mecânicos na transmissão. Dessa forma, optou-se por um soft starter para limitar o inrush e proteger tanto a rede quanto o próprio refinador. O modelo escolhido foi o SSW070200T5SZ (WEG SSW07 2200TQ), com corrente nominal de 200 A. Esse soft starter realiza rampa de aceleração controlada, reduzindo o pico de corrente a cerca de $1,5\text{--}2\times$ a corrente nominal, e apresenta bypass interno que transfere o motor para operação direta após a partida, minimizando perdas por aquecimento de semicondutores.

Tabela 10: Especificação do Soft Starter – Motor 4 (Partida Suave)

Modelo	SSW070200T5SZ (WEG SSW07 2200TQ)
Corrente Nominal	200 A (trifásico)
Tensão de Alimentação	220–575 V CA (trifásico)
Frequência	50/60 Hz
Potência Nominal do Motor	Até 150 cv (110 kW em 380 V)
Tensão de Controle	100–240 V CA
Bypass Interno	Sim (contator interno para regime permanente após partida)
Funções Adicionais	Rampa de aceleração/desaceleração, proteção contra sobrecarga, subtensão, falha de fase, frenagem eletrônica
Interface	Teclado frontal com display LCD, comunicação RS-232/RS-485 opcional
Grau de Proteção	IP20 (gabinete aberto)
Montagem	Painel (vertical)
Aplicações Típicas	Refinadores, bombas de grande porte, ventiladores industriais
Normas Atendidas	IEC 60947-4-2 / UL 508C / CSA C22.2 No. 14

Em função do refinador de celulose, a partida suave é imprescindível para evitar choques mecânicos e variações bruscas de corrente na rede. O bypass interno garante operação em regime permanente direta após a partida, preservando a eficiência energética.

Resumo Técnico – Chaves de Partida dos Motores

Tabela 11: Comparativo – Dispositivo de Partida dos Motores

Item	Motor 5 (Esteira, 20 cv)	Motor 4 (Refinador, 150 cv)
Corrente Nominal (380 V)	28,56 A	198,26 A
Tipo de Partida	Partida Direta	Soft Starter (SSW070200TSSZ)
Justificativa Técnica	Partida direta sem sobrecarga; esteira opera em velocidade fixa	Partida suave necessária para reduzir pico de corrente e choques mecânicos no refinador
Dispositivo Selecionado	Contator CWM32-00-30D33 (32 A, AC-3)	Soft Starter SSW07 2200TQ (200 A)

10 Estudo de Curto-Circuito

Foram definidos os parâmetros base para a normalização das impedâncias do sistema em pu (por unidade), a fim de padronizar os cálculos e torná-los independentes das potências nominais dos componentes. Adotou-se:

- Tensão base (V_b): 13,8 kV.
- Potência base (S_b): 100 MVA.
- Impedância base (Z_b): $Z_b = \frac{V_b^2}{S_b}$.
- Corrente base (I_b): $I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} \cdot V_b}$.

10.1 Impedâncias no Ponto de Entrega

Foram consideradas as impedâncias de sequência positiva (Z_{ps}) e sequência zero (Z_0), com valores expressos em pu:

- Z_{ps} : Impedância de sequência positiva.
- Z_0 : Impedância de sequência zero.

As impedâncias são representadas na forma complexa, considerando resistência (R) e reatância (X), para permitir análises com defasagens angulares.

10.2 Cálculo do Curto-Circuito no Ponto de Entrega

Curto-Circuito Trifásico

A corrente de curto-circuito trifásica é calculada por:

$$I_{cc3} = \frac{V_b}{\sqrt{3} \cdot Z_{ps}}$$

O módulo e o argumento da corrente foram obtidos com as funções `IMABS()` e `IMARGUMENT()`, respectivamente.

Curto-Circuito Monofásico

A impedância equivalente é dada por:

$$Z_{eq} = Z_{ps} + Z_0 + Z_{ps}$$

E a corrente de falta é:

$$I_{cc1} = \frac{V_b}{\sqrt{3} \cdot Z_{eq}}$$

Potência de Curto-Circuito

A potência de curto-circuito é calculada por:

$$S_{cc} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_b \cdot |I_{cc3}|}{10^6} \quad [\text{MVA}]$$

Corrente de Impulso Assimétrica

A corrente assimétrica foi determinada a partir da relação X/R, utilizando:

- $\tau = \frac{X}{R}$
- Fator de assimetria: $1 + 2e^{-\pi \cdot \tau}$
- Corrente de impulso: $I_{\text{impulso}} = \sqrt{2} \cdot \text{fator de assimetria} \cdot |I_{cc3}|$

10.3 Análise no Secundário do Transformador

As características do transformador foram convertidas para a base de 100 MVA. A impedância foi obtida por:

$$Z_{pt} = \frac{\%Z \cdot V^2}{\text{Potência do Transformador}}$$

As novas impedâncias foram somadas àquelas do ponto de entrega, permitindo recalcular as correntes trifásica, monofásica e assimétrica do lado de baixa tensão.

10.4 Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT)

As impedâncias dos cabos foram convertidas para pu com:

$$R_{pu} = \frac{R \cdot \text{comprimento}}{Z_b}, \quad X_{pu} = \frac{X \cdot \text{comprimento}}{Z_b}$$

Esses valores foram somados às impedâncias do transformador e ponto de entrega. Novos valores de curto-circuito foram calculados.

10.5 Barramentos 1, 2 e 3

Foram realizadas análises individuais dos barramentos, considerando as impedâncias dos respectivos trechos de cabos. As impedâncias foram somadas em pu para obtenção das correntes de curto-circuito trifásico e monofásico, além das correntes de impulso associadas.

10.6 Considerações Finais

- Todas as impedâncias foram normalizadas em pu, simplificando os cálculos e tornando-os independentes das potências reais dos componentes.
- Os cálculos consideraram números complexos para capturar os ângulos das impedâncias.
- O fator de assimetria é essencial para estimar o valor de pico da corrente nos primeiros ciclos.

Etapas	Valor	Unidade	Observação	FÓRMULAS
DADOS INICIAIS				
VALORES BASE				
Tensão base - MT - VB	13800	V	13,8 kV	
Potência base	100000000	VA	100 MVA	
Impedância base - Zb	1,9044	Ohms		=('S' - Tabela curto circuito'IVb^2)/'S - Tabela curto circuito'Ip
Corrente base - Ib	4183,697603	A	4,18 kA	=('S' - Tabela curto circuito'Ip)/(SQR('3))*'S - Tabela curto circuito'IVb)
tensão base - BT - Vbbt	380	V		
Corrente base - Ibbt	151934,2814	A	151,93kA	=('S' - Tabela curto circuito'Ip)/(SQR('3))*'S - Tabela curto circuito'IVbbt)
PONTO DE ENTREGA				
IMPEDÂNCIA				
Seq positiva - Zps	0,1+0,5j	PU NA BASE DE 100MVA e 13,8kV		=COMPLEX(D13,D14,"j")
Rps	0,1			
Xps	0,5			
Seq zero - Zps	0,2+0,8j	PU NA BASE DE 100MVA e 13,8kV		=COMPLEX(D16,D17,"j")
Rp0	0,2			
Xp0	0,8			
CURTO CIRCUITO				
TRIFÁSICO				
Ics	1609,11446262438-8045,57231312188j	A (cartesiano)		=IMDIV('S' - Tabela curto circuito'lib,D12)
Módulo de Ics	8,20	KA		=IMABS(D20)/1000
Fase de Ics	-78,69	Graus		=DEGREES(IMARGUMENT(D20))
MONOFÁSICO				
Zeq até este ponto (até lado de alta do trafo)	0,4+1,8j			=IMSUM('S' - Tabela curto circuito'Zps;'S' - Tabela curto circuito'Zps;'S
lcft	1476,59915393766-6644,69619271948j	A (cartesiano)		=IMDIV(3*'S' - Tabela curto circuito'lib,D24)
Módulo de lcft	6,81	KA		=IMABS(D25)/1000
Fase de lcft	-77,47	Graus		=DEGREES(IMARGUMENT(D25))
POTÊNCIA CURTO CIRCUITO				
Pcc	0,20	MVA		=(SQR('3))*'S' - Tabela curto circuito'IVb^2/D21/1000000
ASSIMÉTRICO				
relação X/R	-5,00			=IMAGINARY(D20)/(IMREAL(D20))
Fator de assimetria	2,178335431			=SQRT(1+2*EXP(-2*0,00416/D35))
corrente de curto circuito	17,87			=D32*D21
Impulso da corrente de curto	25,28			=D33*SQRT(2)
Tau	-0,01326291192			=IMAGINARY(D20)/(PI()*2*60*IMREAL(D20))
SECUNDÁRIO DO TRANSFORMADOR				
IMPEDÂNCIA				
Pot nominal do trafo	750	kVA	750 Kva	
Perdas cobre	15700	W	15,7kW	
Res. percentual Rpt	2,093333333	%		=D42/(10*D41)
Res. pu Rut	0,02093333333	pu	na base de 100 MVA	=D43/100
Res. pu Rxt	2,093333333	pu	na base de 100 MVA	=D43/1
Imp. percentual Zpt	0,05	pu	0,05% - dado de placa	
Imp. p.u. Zut	6,666666667	pu	na base de 100 MVA	=D43*'S' - Tabela curto circuito'Ip/(D38*1000)
Reatância pu Xut	6,329486551	pu	na base de 100 MVA	=SQRT(D47^2-D45^2)
Imp. Dotrafo	2,09333333333333+6,3294865510561j	pu	2,1 + j6,32 pu	=COMPLEX(D45,D48,"j")
CURTO CIRCUITO				
TRIFÁSICO				
zeq até o ponto - APENAS	2,19333333333333+6,8294865510561j			=IMSUM(D46;'S' - Tabela curto circuito'IZps)
Ics	6476,68998139711-20166,7783236982j	A (cartesiano)		=IMDIV('S' - Tabela curto circuito'libbt,D49)
Módulo de Ics	21,18127619	KA		=IMABS(D53)/1000
Fase de Ics	-72,19524606	Graus		=DEGREES(IMARGUMENT(D53))
MONOFÁSICO				
Zeq até este ponto - Lado de BT	6,67999999999999+20,7884596531683j			=IMSUM('S' - Tabela curto circuito'Zps;'S' - Tabela curto circuito'Zps;'S
lcft	6386,06343045064-19873,715863248j	A (cartesiano)		=IMDIV(3*'S' - Tabela curto circuito'libbt,D54)
Módulo de lcft	20,87453924	KA		=IMABS(D58)/1000
Fase de lcft	-72,18611953	Graus		=DEGREES(IMARGUMENT(D58))
ASSIMÉTRICO				
relação X/R	3,11			=IMAGINARY(D52)/(IMREAL(D52)
Fator de assimetria	1,32			=SQRT(1+2*EXP(-2*0,00416/D63))
corrente de curto circuito	27,86			=D63*D54
Impulso da corrente de curto	39,40			=D61*SQRT(2)
Tau	0,008259472214			=IMAGINARY(D49)/(PI()*2*60*IMREAL(D49))
QGF				
IMPEDÂNCIA				
Lc	10	M	Comprimento dos cabos	
Nc	4		Condutores por fase	
Sc	240	mm²	Seção dos condutores	
Sequência positiva				
R_Cabo	0,099	mOhms/m	Tabelado	
R_CaboPos_ohm	0,0002475	Ohms		=D76*SD572/(1000*SD573)
R_CaboPos_pu	0,171398892	pu		=D71/('S' - Tabela curto circuito'IVbbt^2/'S' - Tabela curto circuito'Ip)
X_Cabo	0,077	mOhms/m	Tabelado	
X_CaboPos_ohm	0,0001925	Ohms		=D79*SD572/(1000*SD573)

Figura 1: Tabela CC-1

X_CaboPos_pu	0,1333102493	pu		=D74/(5 - Tabela curto circuito 'IVbbt^2/5 - Tabela curto circuito 'IPb)
Z_CaboPos_pu	0,171398891966759+0,133310249307479j	pu		=COMPLEX(D78,D81,"j")
Sequência zero				
R_Cabo	0,248	mOhms/m	Tabelado	
R_CaboPos_ohm	0,00062	Ohms		=D84*\$D\$72/(1000*\$D\$73)
R_CaboPos_pu	0,4293628809	pu		=D79/(5 - Tabela curto circuito 'IVbbt^2/5 - Tabela curto circuito 'IPb)
X_Cabo	2,01	mOhms/m	Tabelado	
X_CaboPos_ohm	0,005025	Ohms		=D87*\$D\$72/(1000*\$D\$73)
X_CaboPos_pu	3,479916898	pu		=D82/(5 - Tabela curto circuito 'IVbbt^2/5 - Tabela curto circuito 'IPb)
Z_CaboPos_pu	0,429362880886427+3,47991689750692j	pu		=COMPLEX(D86,D89,"j")
CURTO CIRCUITO				
TRIFÁSICO				
zeq até o ponto - APENAS SEQ POSITIVA	2,36473222530009+6,96279680036358j			=IMSUM(D76,D46/5 - Tabela curto circuito 'IZps)
Ics	6644,4848309311-19564,2437760581j	A (cartesiano)		=IMDIV(5 - Tabela curto circuito 'Ibbt,D87)
Módulo de Ics	20,66	KA		=IMABS(D94)/1000
Fase de Ics	-71,24	Graus		=DEGREES(IMARGUMENT(D94))
MONOFÁSICO				
Zeq até este ponto - Lado de BT	7,02279778393351+21,0550801517833j			=IMSUM(D87,D87,D46/5 - Tabela curto circuito 'IZos)
Icft	6497,71966667073-19480,8411967321j	A (cartesiano)		=IMDIV(3*5 - Tabela curto circuito 'Ibbt,D92)
Módulo de Icft	20,54	A		=IMABS(D99)/1000
Fase de Icft	-71,55	Graus		=DEGREES(IMARGUMENT(D99))
ASSIMÉTRICO				
relação X/R	2,94			=IMAGINARY(D93)/IMREAL(D93)
Fator de assimetria	1,30			=SQRT(1+2*EXP(-2*0,00416/D101))
corrente de curto circuito	26,85			=D104*D95
Impulso da corrente de curto	37,98			=D99*SQRT(2)
Tau	0,007810352455			=IMAGINARY(D87)/(PI()*2*60*IMREAL(D87))
BARRAMENTO 1				
IMPEDÂNCIA				
Lc	25	m	Comprimento dos cabos	
Nc	1		Condutores por fase	
Sc	300	mm²	Seção dos condutores	
Sequência positiva				
R_Cabo	0,081	mOhms/km	Tabelado	
R_CaboPos_ohm	0,002025	Ohms		=D117*\$D\$113/(1000*\$D\$114)
R_CaboPos_pu	1,402354571	pu		=D109/(5 - Tabela curto circuito 'IVbbt^2/5 - Tabela curto circuito 'IPb)
X_Cabo	0,077	mOhms/m	Tabelado	
X_CaboPos_ohm	0,001925	Ohms		=D120*\$D\$113/(1000*\$D\$114)
X_CaboPos_pu	1,333102493	pu		=D112/(5 - Tabela curto circuito 'IVbbt^2/5 - Tabela curto circuito 'IPb)
Z_CaboPos_pu	1,40235457063712+1,33310249307479j	pu		=COMPLEX(D119,D122,"j")
Sequência zero				
R_Cabo	0,229	mOhms/m	Tabelado	
R_CaboPos_ohm	0,005725	Ohms		=D125*\$D\$113/(1000*\$D\$114)
R_CaboPos_pu	3,96468144	pu		=D117/(5 - Tabela curto circuito 'IVbbt^2/5 - Tabela curto circuito 'IPb)
X_Cabo	1,987	mOhms/m	Tabelado	#N/A
X_CaboPos_ohm	0,049675	Ohms		=D128*\$D\$113/(1000*\$D\$114)
X_CaboPos_pu	34,40096953	pu		=D120/(5 - Tabela curto circuito 'IVbbt^2/5 - Tabela curto circuito 'IPb)
Z_CaboPos_pu	3,96468144044321+34,4009695290859j	pu		=COMPLEX(D127,D130,"j")
CURTO CIRCUITO				
TRIFÁSICO				
zeq até o ponto - APENAS SEQ POSITIVA	3,76708679593721+8,29589929343837j			=IMSUM(D123,\$D\$93)
Ics	6894,70802509018-15183,5639931358j	A (cartesiano)		=IMDIV(5 - Tabela curto circuito 'Ibbt,D125)
Módulo de Ics	16,68	KA		=IMABS(D135)/1000
Fase de Ics	-65,58	Graus		=DEGREES(IMARGUMENT(D135))
MONOFÁSICO				#N/A
Zeq até este ponto - CCM	11,4168421052631+58,9359665783761j			=IMSUM(D122,\$D\$87,\$D\$87,\$D\$84,\$D\$46/5 - Tabela curto circuito 'IZos)
Icft	1443,98690783659-7454,14216604065j	A (cartesiano)		=IMDIV(3*5 - Tabela curto circuito 'Ibbt,D130)
Módulo de Icft	7,59	KA		=IMABS(D140)/1000
Fase de Icft	-79,04	Graus		=DEGREES(IMARGUMENT(D140))
ASSIMÉTRICO				#N/A
relação X/R	2,20			=IMAGINARY(D134)/IMREAL(D134)
Fator de assimetria	1,45			=SQRT(1+2*EXP(-2*0,00416/D139))
corrente de curto circuito	24,10			=D145*D136
Impulso da corrente de curto	34,09			=D137*SQRT(2)
Tau	0,01369314784			=IMAGINARY(D130)/(PI()*2*60*IMREAL(D130))
BARRAMENTO 2				
IMPEDÂNCIA				
Lc	35	m	Comprimento dos cabos	
Nc	1		Condutores por fase	

Figura 2: Tabela CC-2

Sc	70	mm ²	Seção dos condutores	
Sequência positiva				
R_Cabo	0,343	mOhms/m	Tabelado	
R_CaboPos_ohm	0,012005	Ohms		=D158*D154/(1000*D155)
R_CaboPos_pu	8,313711911	pu		=D147/(5 - Tabela curto circuito IVbbit^2/5 - Tabela curto circuito IPb)
X_Cabo	0,079	mOhms/m	Tabelado	
X_CaboPos_ohm	0,002765	Ohms		=D161*D154/(1000*D155)
X_CaboPos_pu	1,914819945	pu		=D150/(5 - Tabela curto circuito IVbbit^2/5 - Tabela curto circuito IPb)
Z_CaboPos_pu	8,31371191135734+1,91481994459834j	pu		=COMPLEX(D160,D163,"j")
Sequência zero				
R_Cabo	0,491	mOhms/m	Tabelado	
R_CaboPos_ohm	0,017185	Ohms		=D166*D154/(1000*D155)
R_CaboPos_pu	11,90096953	pu		=D155/(5 - Tabela curto circuito IVbbit^2/5 - Tabela curto circuito IPb)
X_Cabo	2,15	mOhms/m	Tabelado	
X_CaboPos_ohm	0,07525	Ohms		=D169*D154/(1000*D155)
X_CaboPos_pu	52,11218837	pu		=D158/(5 - Tabela curto circuito IVbbit^2/5 - Tabela curto circuito IPb)
Z_CaboPos_pu	11,9009695290859+52,112188365651j	pu		=COMPLEX(D168,D171,"j")
CURTO CIRCUITO				
TRIFÁSICO				
zeq até o ponto - APENAS SEQ POSITIVA	10,6784441366574+8,87761674496192j			=IMSUM(D164,D93)
Ics	8413,25054016566-6994,42848781097j	A (cartesiano)		=IMDIV(5 - Tabela curto circuito libbt,D163)
Módulo de Ics	10,94	A		=IMABS(D176)/1000
Fase de Ics	-39,74	Graus		=DEGREES(IMARGUMENT(D176))
MONOFÁSICO				
Zeq até este ponto - CCM	19,3531301939058+76,6471854149412j			=IMSUM(D160,\$D\$87,\$D\$87,\$D\$84,\$D\$46,5 - Tabela curto circuito IZ)
Icft	1411,54414602273-5590,35591646295j	A (cartesiano)		=IMDIV(3*5 - Tabela curto circuito libbt,D168)
Módulo de Icft	5,77	A		=IMABS(D181)/1000
Fase de Icft	-75,82922	Graus		=DEGREES(IMARGUMENT(D181))
ASSIMÉTRICO				
relação X/R CCM	0,83			=IMAGINARY(D175)/IMREAL(D175)
Fator de assimetria	1,02			=SQRT(1+2*EXP(-2*0,00416/D177))
corrente de curto circuito	11,19			=D186*D177
Impulso da corrente de curto	15,82			=D175*SQRT(2)
Tau	0,002205247272			=IMAGINARY(D163)/(PI()*2*60*IMREAL(D163))
BARRAMENTO 3				
IMPEDÂNCIA				
Lc	30	m	Comprimento dos cabos	
Nc	1		Condutores por fase	
Sc	240	mm ²	Seção dos condutores	
Sequência positiva				
R_Cabo	0,099	mOhms/m	Tabelado	
R_CaboPos_ohm	0,00297	Ohms		=D199*D195/(1000*D196)
R_CaboPos_pu	2,056786704	pu		=D185/(5 - Tabela curto circuito IVbbit^2/5 - Tabela curto circuito IPb)
X_Cabo	0,077	mOhms/m	Tabelado	
X_CaboPos_ohm	0,00231	Ohms		=D202*D195/(1000*D196)
X_CaboPos_pu	1,599722992	pu		=D188/(5 - Tabela curto circuito IVbbit^2/5 - Tabela curto circuito IPb)
Z_CaboPos_pu	2,0567867036011+1,59972299168975j	pu		=COMPLEX(D201,D204,"j")
Sequência zero				
R_Cabo	0,248	mOhms/m	Tabelado	
R_CaboPos_ohm	0,00744	Ohms		=D207*D195/(1000*D196)
R_CaboPos_pu	5,152354571	pu		=D193/(5 - Tabela curto circuito IVbbit^2/5 - Tabela curto circuito IPb)
X_Cabo	2,01	mOhms/m	Tabelado	
X_CaboPos_ohm	0,0603	Ohms		=D210*D195/(1000*D196)
X_CaboPos_pu	41,75900277	pu		=D196/(5 - Tabela curto circuito IVbbit^2/5 - Tabela curto circuito IPb)
Z_CaboPos_pu	5,15235457063712+41,7590027700831j	pu		=COMPLEX(D209,D212,"j")
CURTO CIRCUITO				
TRIFÁSICO				
zeq até o ponto - APENAS SEQ POSITIVA	4,4215189289012+8,56251979205333j			=IMSUM(D205,D93)
Ics	7233,82231176373-14008,7032788225j	A (cartesiano)		=IMDIV(5 - Tabela curto circuito libbt,D201)
Módulo de Ics	15,77	KA		=IMABS(D217)/1000
Fase de Ics	-62,69	Graus		=DEGREES(IMARGUMENT(D217))
MONOFÁSICO				
Zeq até este ponto - CCM	12,6045152354571+66,2939998193733j			=IMSUM(D198,\$D\$87,\$D\$87,\$D\$84,\$D\$46,5 - Tabela curto circuito IZ)
Icft	1261,63072422766-6635,60203956002j	A (cartesiano)		=IMDIV(3*5 - Tabela curto circuito libbt,D206)
Módulo de Icft	6,75	KA		=IMABS(D222)/1000
Fase de Icft	-79,23	Graus		=DEGREES(IMARGUMENT(D222))
ASSIMÉTRICO				
relação X/R CCM	1,94			=IMAGINARY(D216)/IMREAL(D216)
Fator de assimetria	1,18			=SQRT(1+2*EXP(-2*0,00416/D215))

Figura 3: Tabela CC-3

corrente de curto circuito	18,63			=D212*D203
impulso da corrente de curto	26,34			=D213*SQRT(2)
Tau	0,00513687480155			=IMAGINARY(D201)/(PI())*2*60*IMREAL(D201)

Figura 4: Tabela CC-4

Tabela 12: Correntes de Curto-Circuito por Setor

Setor	trifásico (I_{cs}) [kA]	monofásico franco (I_{cf}) [kA]	Fator de assimetria (k_{af})	I_{ca} [kA]
Ponto de entrega	8,20	6,81	2,18	17,87
Secundário do transformador	21,18	20,87	1,32	27,86
QGF	20,66	20,54	1,30	26,85
Barramento área 1	16,68	7,59	1,45	24,10
Barramento área 2	10,94	5,77	1,02	11,19
Barramento área 3	15,77	6,75	1,18	18,63

11 Projeto Luminotécnico – Área A1

Nesta seção, apresenta-se o cálculo passo a passo para dimensionar a iluminação da *Área A1*, considerando lâmpadas fluorescentes de 4×32 W por luminária. Adota-se como critério de iluminância mínima para escritórios $E_{\text{req}} = 500$ lx, conforme ABNT NBR 5413.

11.1 Dados Iniciais

- **Dimensões da área:** $20 \text{ m} \times 15 \text{ m} = 300 \text{ m}^2$.
- **Atividade:** Escritório comum ($E_{\text{req}} = 500$ lx).
- **Características de refletância:**
 - *Teto*: superfície clara (alto índice de reflexão).
 - *Paredes*: brancas (refletância elevada).
 - *Piso*: escuro (refletância baixa).
- **Altura total do pé-direito:** $H_{\text{total}} = 3,50$ m.
- **Altura da superfície de trabalho (plano de trabalho):** $H_{\text{plano}} = 0,90$ m.
- **Altura dos módulos / luminárias até o teto:** $H_{\text{md}} = 0,80$ m.
- **Lâmpadas por luminária:** 4×32 W fluorescentes ($\Phi_{\text{imp}} = 2\,400$ lm cada).
- **Fluxo luminoso por luminária:**

$$\Phi_{\text{lum}} = 4 \times 2\,400 \text{ lm} = 9\,600 \text{ lm}.$$

- **Coeficiente de utilização (CU):** 0,58, obtido do Manual Osram para:

$$K \approx 4,76, \quad \rho_{\text{teto}} \approx 80\%, \quad \rho_{\text{paredes}} \approx 70\%, \quad \rho_{\text{piso}} \approx 20\%.$$

- **Fator de manutenção (FM):** $FM = 0,80$ (conforme ABNT ISO/CIE 8995-1:2013 para ambientes limpos).

11.2 Cálculo do Número de Luminárias

1. Fluxo necessário total no plano de trabalho.

$$\Phi_{\text{tot, req}} = E_{\text{req}} \times A = 500 \text{ lx} \times 300 \text{ m}^2 = 150\,000 \text{ lm}.$$

2. Fluxo que deve ser emitido pelas luminárias. Para atender essa iluminância, considera-se:

$$\Phi_{\text{tot, fornecido}} = CU \times FM \times \Phi_{\text{emitido}},$$

onde Φ_{emitido} é o fluxo total produzido pelas luminárias instaladas. Assim,

$$\Phi_{\text{emitido}} = \frac{\Phi_{\text{tot, req}}}{CU \times FM} = \frac{150\,000}{0,58 \times 0,80} = \frac{150\,000}{0,464} \approx 323\,276 \text{ lm.}$$

3. Cálculo do número de luminárias. Cada luminária emite $\Phi_{\text{lum}} = 9\,600 \text{ lm}$. Então:

$$N_{\text{lum}} = \frac{\Phi_{\text{emitido}}}{\Phi_{\text{lum}}} = \frac{323\,276}{9\,600} \approx 33,66 \Rightarrow 34 \text{ luminárias (mínimo, usado 35).}$$

11.3 Disposição e Espaçamento das Luminárias

Desse modo, define-se um espaçamento aproximado de 5,00 m entre colunas e 2,50 m entre linhas, conforme figura simplificada:

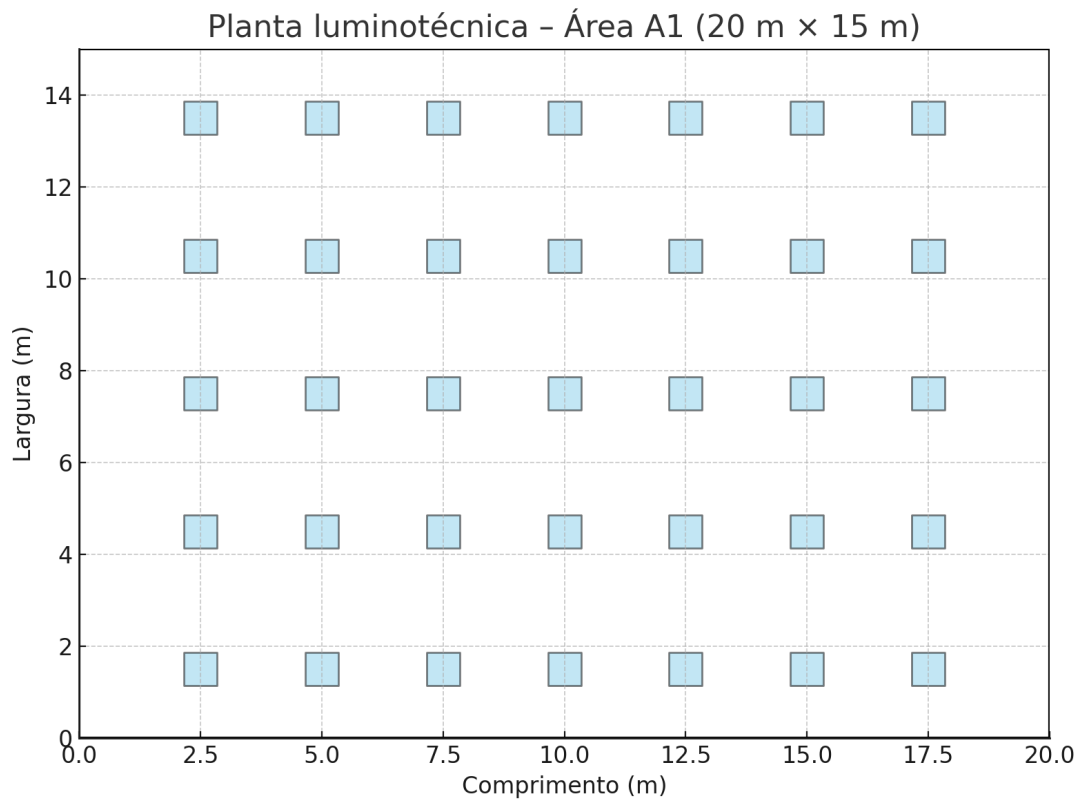


Figura 5: Esquema da disposição das luminárias na Área A1.

11.4 Resumo do Projeto Luminotécnico

- **Área total:** 300 m^2 .
- **Iluminância desejada:** $E_{\text{req}} = 500 \text{ lx}$.
- **Fluxo necessário total no plano de trabalho:** $\Phi_{\text{tot, req}} = 150\,000 \text{ lm}$.
- **Coefficiente de Utilização:** $CU = 0,58$.
- **Fator de Manutenção:** $FM = 0,80$.
- **Fluxo total a ser emitido pelas luminárias:** $\Phi_{\text{emitido}} \approx 323\,276 \text{ lm}$.
- **Fluxo por luminária:** $9\,600 \text{ lm}$.
- **Número de luminárias:** $N_{\text{lum}} = 35$.
- **Arranjo:** malha reticulada 5×7 , espaçamentos de $5,00 \text{ m}$ (colunas) e $2,50 \text{ m}$ (linhas), com 1 ponto vazio para totalizar 34 unidades.

Dessa forma, a Área A1 atingirá a iluminância média de 500 lx no plano de trabalho, atendendo às exigências da norma NBR 5413 e garantindo uniformidade satisfatória de distribuição luminosa.

12 Conclusão

A execução deste projeto elétrico industrial permitiu integrar critérios técnicos rigorosos com soluções práticas e seguras, resultando em um sistema elétrico robusto e aderente às normas vigentes. O dimensionamento adequado dos condutores, disjuntores e transformador assegura eficiência operacional e proteção contra sobrecargas e curtos-circuitos. O estudo de partida dos motores foi essencial para garantir estabilidade da rede e preservar os equipamentos críticos da planta.

A escolha da subestação externa abrigada e o projeto luminotécnico reforçam a preocupação com a funcionalidade, durabilidade e conforto operacional da instalação. Com a devida margem de segurança prevista, o sistema está preparado para suportar expansões futuras e variações de carga, mantendo alto padrão de desempenho. Este relatório consolida as bases para uma implantação elétrica eficiente, duradoura e em conformidade com as exigências técnicas e legais do setor.

13 Referências

Referências

- [1] ABNT. *NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019.
- [2] ABNT. *NBR 5413: Iluminância de ambientes internos*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015.
- [3] ABNT. *NBR IEC 60364-1: Instalações elétricas de baixa tensão – Parte 1: Princípios fundamentais, avaliação de características gerais, definições*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014.
- [4] LIGHT. *RECON-BT 2024: Regulamentação de entradas coletivas e individuais de baixa tensão*. Rio de Janeiro: Light SESA, 2024.
- [5] LIGHT. *PROCT 2020: Procedimentos para entradas subterrâneas de redes de distribuição*. Rio de Janeiro: Light SESA, 2020.
- [6] LIGHT. *Padrão de Entrada – Telemedição*. Rio de Janeiro: Light SESA, 2023.
- [7] WEG Equipamentos Elétricos S.A. *Catálogo técnico de motores elétricos trifásicos – Linha W22 IR3 Premium*. Jaraguá do Sul: WEG, 2024.
- [8] SIEMENS. *Catálogo técnico de disjuntores e proteção modular – Linha Sentron*. São Paulo: Siemens Brasil, 2023.
- [9] OSRAM. *Manual técnico de iluminação – Luminotécnica aplicada*. São Paulo: Osram Brasil, 2020.