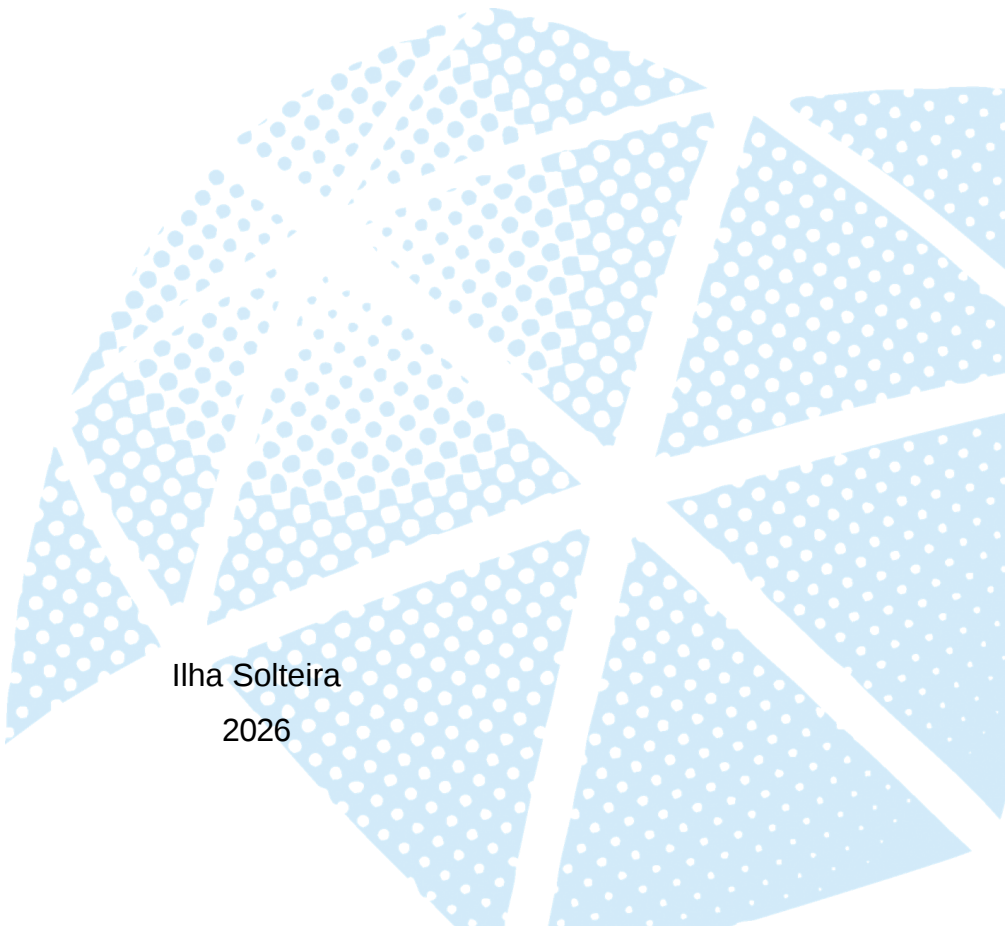


**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

GUILHERME CALIXTO PÁDUA

**ESTUDO DOS IMPACTOS DA LOCALIZAÇÃO DE BANCOS DE CAPACITORES
EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS**



Ilha Solteira
2026

GUILHERME CALIXTO PÁDUA

**ESTUDO DOS IMPACTOS DA LOCALIZAÇÃO DE
BANCOS DE CAPACITORES EM INSTALAÇÕES
ELÉTRICAS INDUSTRIAIS**

Trabalho de Graduação apresentado à
Universidade Estadual Paulista
(UNESP), Faculdade de Engenharia
de Ilha Solteira, para obtenção do título
de Grau acadêmico Bacharel em
Engenharia Elétrica.

Orientador(a): Prof. Dr. Fábio
Bertequini Leão

Ilha Solteira

2026

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P125e Pádua, Guilherme Calixto.
Estudo dos impactos da localização de bancos de capacitores em instalações
elétricas industriais / Guilherme Calixto Pádua. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2026
64 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira,
2026

Orientador: Fábio Bertequini Leão

Inclui bibliografia

1. Fator de potência. 2. Banco de capacitores. 3. Simulação. 4. Mamede
Filho. 5. Indústria. 6. Triângulo de potências.

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aos três dias do mês de julho do ano de dois mil e vinte e seis, o discente Guilherme Calixto Pádua, matriculado sob o nº 172055652, tendo como banca examinadora seu orientador, o *Prof. Dr. Fábio Bertequini Leão*, a *Doutoranda Elis Caroline de Souza Trindade* e o *Doutorando Andres Luis Sabillon Antunez*, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado **"ESTUDO DOS IMPACTOS DA LOCALIZAÇÃO DE BANCOS DE CAPACITORES EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS"** obtendo a nota 9,0 (NOVE) e conceito APROVADO.

Fábio Bertequini Leão

Fábio Bertequini Leão

- Orientador -

Guilherme Calixto Pádua

Guilherme Calixto Pádua

- Discente -

Elis Caroline de Souza Trindade

Elis Caroline de Souza Trindade

- Membro da Banca -

Andres Luis Sabillon Antunez

Andres Luis Sabillon Antunez

- Membro da Banca -

AGRADECIMENTOS

Minha caminhada na vida acadêmica apresentou diversos obstáculos. Com o objetivo de buscar meu diploma enfrentei diversos problemas pessoais que desencadearam diversas reprovagens em minha graduação. Primeiramente gostaria de agradecer a Deus e a minha família por todo apoio, em especial a meu pai Nilton César de Pádua, que apesar de tudo nunca me fez desistir de meu sonho.

Gostaria de agradecer também as pessoas que cruzaram meu caminho em Ilha Solteira, que me proporcionaram momentos de companheirismo e estudo até tardes horas da madrugada. À minha namorada, Estefani Daiani da Silva Cruz, que conheci durante o período da graduação e sempre acreditou em meu potencial e me deu suporte para me tornar sempre uma versão melhorada de mim mesmo. A República Albergue, todos os moradores, ex-moradores e agregados que tive o prazer de conhecer no período em que morei.

Quero agradecer também à Empresa Júnior Potencial, e todos seus integrantes pelas amizades e também por todo aprendizado recebido na área empresarial e técnica.

Extendo também este agradecimento a todos os docentes, sem exceção, que me ensinaram durante toda a minha graduação período como estudante da FEIS e compartilharam parte de seus conhecimentos para que eu finalizasse a minha graduação e pudesse ter capacidade para realizar este trabalho. Em especial ao Prof. Fábio Bertequini por todo aprendizado na área de industriais e por toda a orientação proporcionada para a realização deste trabalho.

“Os limites da alma não podem ser encontrados,
mesmo que você percorra todos os caminhos,
tão profunda é a sua essência.”
(Heráclito de Éfeso, c. 535–470 a.C.)

RESUMO

Este trabalho tem como finalidade analisar o comportamento da correção de fator de potência a partir de diferentes pontos da indústria, desde o primário do transformador, até os circuitos terminais dos motores de indução trifásicos. A literatura técnica indica que a correção de fator de potência em uma indústria é importante para evitar multas por reativo excedente. No entanto esse trabalho visa analisar através de uma simulação realizada em MatLab Simulink qual é a melhor solução para uma instalação elétrica industrial, levando em conta o impacto de cada ponto para correção de fator de potência e qual a melhor solução financeira para manter a potência reativa do sistema dentro de padrões aceitáveis e com uma margem de segurança (fator de potência de 0,95). Para analisar a parte financeira utilizou-se como base o catálogo de banco de capacitores trifásicos da WEG. Os resultados mostram que a correção de fator de potência feita de forma individual nos terminais dos motores proporcionam um melhor desempenho, reduzindo a corrente circulante e também elevando o nível de tensão.

Palavras-chave: Fator de potência, Banco de Capacitores, Simulação, Mamede Filho, Indústria, Triângulo de potências.

ABSTRACT

This study aims to analyze power factor correction behavior from different points within an industrial electrical installation, ranging from the transformer primary side to the terminal circuits of three-phase induction motors. It is well known that power factor correction in industrial facilities is essential to avoid penalties associated with excessive reactive power consumption from the electrical grid. However, the objective of this work is to evaluate, through MatLab Simulink simulations, the most suitable solution for an industrial electrical installation by considering the impact of power factor correction at different locations within the system. Furthermore, the study seeks to determine the most economically viable solution for maintaining the system's reactive power within acceptable standards while ensuring a safety margin corresponding to a power factor of 0,95. For the financial analysis, the WEG three-phase capacitor bank catalog was used as the reference source for equipment selection and cost evaluation. The results indicate that individual power factor correction performed at the motor terminals provides better performance by reducing the current flowing through the electrical system and improving voltage levels.

Keywords: Power Factor, Capacitor Bank, Simulation, Mamede Filho, Industry, Power Triangle.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Triângulo de Potências	3
Figura 2: Configuração de Motores Simulink (Motor A)	13
Figura 3: Planta baixa da indústria	14
Figura 4: Planta elétrica Industrial	15
Figura 5: Diagrama Unifilar da indústria	16
Figura 6: Trecho entre entrega de energia e QGF	17
Figura 7: Trecho entre QGF e CCM A	18
Figura 8: Trecho entre CCM A e motores A	19
Figura 9: Circuito completo de Simulação	19
Figura 10: Comparativo de Medidas com Correção do FP em Média Tensão	22
Figura 11: Comparativo de Medidas com Correção de FP no QGF	24
Figura 12: Comparativo de Medidas com Correção de FP em CCMs (CCM A)	26
Figura 13: Comparativo de Medidas com Correção de FP em Motores (MT e QGF)	30
Figura 14: Comparativo de Parâmetros com Correção de FP em Motores (CCM A e Motor A)	31
Figura 15: Comparativo de Medidas com Correção de FP Mista (QGF e CCM A)	36
Figura 16: Comparativo de Medidas com correção de FP em Média Tensão	42
Figura 17: Comparativo de Medidas com Correção de FP no QGF	43
Figura 18: Comparativo de Medidas com Correção de FP em CCMs (CCM A)	44
Figura 19: Comparativo de Medidas com Correção de FP em CCMs (CCM B)	45
Figura 20: Comparativo de Medidas com Correção de FP em CCMs (CCM C)	46
Figura 21: Comparativo de Medidas com Correção de FP em CCMs (CCM D)	47
Figura 22: Comparativo de Medidas com Correção de FP em CCMs (CCM E)	48
Figura 23: Comparativo de Medidas com Correção de FP em Motores (MT e QGF)	49
Figura 24: Comparativo de Medidas com Correção de FP em Motores (CCM A e Motor A)	50
Figura 25: Comparativo de Medidas com Correção de FP em Motores (CCM B e Motor B)	51

Figura 26: Comparativo de Medidas com Correção de FP em Motores (CCM C e Motor C)	52
Figura 27: Comparativo de Medidas com Correção de FP em Motores (CCM D e Motor D)	53
Figura 28: Comparativo de Medidas com Correção de FP em Motores (CCM E e Motor E)	54
Figura 29: Comparativo de Medidas com Correção de FP Mista (QGF e CCM A)	55
Figura 30: Comparativo de Medidas com Correção de FP Mista (Motor A)	56
Figura 31: Anúncio Capacitor SIM Mexico 300kVAr 13,8kV	57
Figura 32: Anúncio Capacitor WEG UCWT50V40 U28 HD 50kVAr 380V delta	57
Figura 33: Anúncio Capacitor WEG UCWT10V40 N20 HD 10kVAr 380V delta	58
Figura 34: Anúncio Capacitor WEG UCWT45V40 U28 HD 45kVAr 380V delta	58
Figura 35: Anúncio Capacitor WEG UCWT25V40 S26 HD 25kVAr 380V delta	59
Figura 36: Anúncio Capacitor WEG UCWT17,5V40 Q26 HD 17,5kVAr 380V delta	59
Figura 37: Anúncio Capacitor WEG UCWT12,5V40 N22 HD 12,5kVAr 380V delta	60
Figura 38: Anúncio Capacitor WEG UCWT5V40 N20 HD 5kVAr 380V delta	60
Figura 39: Anúncio Capacitor WEG UCWT0,75V40 L10 HD	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados de MITs	11
Tabela 2: Referências da WEG para $\eta_{\%}$ e FP	12
Tabela 3: Potências Nominal e Reativa por fase	12
Tabela 4: Dimensionamento de Condutores de PVC/70 °C	14
Tabela 5: Potências Ativa e Reativa e FPs medido	19
Tabela 6: Valores para Bancos de Capacitores	20
Tabela 7: Porcentagem de Queda de Tensão por Barramento	20
Tabela 8: Combinação Capacitiva e Custos para QGF	24
Tabela 9: Correção de Fator de Potência nos CCMs	24
Tabela 10: Comparação de FPs após Correção nos CCMs	26
Tabela 11: Nova Queda de Tensão com Correção de FP nos CCMs	26
Tabela 12: Correntes na instalação elétrica após a Correção do FP nos CMs	27
Tabela 13: Quantidade de Bancos Capacitivos para CCMs	28
Tabela 14: Correção de FP nos terminais dos Motores	29
Tabela 15: Comparação de FPs antes e após a Correção do FP em Motores	31
Tabela 16: Nova Queda de Tensão para Correção de FP nos Motores	31
Tabela 17: Correntes antes e após a correção do FP nos Motores	32
Tabela 18: Quantidade de bancos capacitivos para Motores	33
Tabela 19: Custo Estimado por ponto de Correção de FP	33
Tabela 20: Comparação de FP após Correção Mista	37
Tabela 21: Nova Queda de Tensão com Correção de FP Mista (V_{AB})	37
Tabela 22: Correntes na instalação elétrica após a Correção do FP Mista (I_{AN})	38
Tabela 23: Custo para Solução Mista	38
Tabela 24: Catálogo de Motores Trifásicos WEG (2 e 4 pólos)	62
Tabela 25: Catálogo WEG Unidades Capacitiva Trifásica Heavy Duty (UCWT) 220V e 380V	63
Tabela 26: Valor Médio de Resistência e Reatância de Sequência Positiva para condutores de PVC/70°C	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Combinação Capacitiva por CCM	28
Quadro 2: Banco de capacitores para Motores	32
Quadro 3: Solução para a Indústria Simulada	35

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Potência Aparente por fase	3
Equação 2: Potência Aparente Trifásica em função de V_f	3
Equação 3: Relação entre Tensões de Linha e de Fase	3
Equação 4: Potência Aparente Trifásica em função de V_{ff}	3
Equação 5: Equação de Triângulo de Potências	4
Equação 6: Equação trigonométrica da Potência Ativa	4
Equação 7: Equação trigonométrica da Potência Reativa	4
Equação 8: Equação trigonométrica da Potência Ativa de fase em função de V_f	4
Equação 9: Equação trigonométrica da Potência Reativa de fase em função de V_f	4
Equação 10: Equação trigonométrica para Potência Ativa Trifásica em função de V_{ff}	4
Equação 11: Equação trigonométrica para Potência Reativa Trifásica em função de V_{ff}	4
Equação 12: Equação trigonométrica para Potência Aparente Trifásica em função de V_{ff}	4
Equação 13: Equação trigonométrica para Fator de Potência	4
Equação 14: Equação de Fator de Potência em função de P e Q	4
Equação 15: Equação trigonométrica para definição de Banco Capacitivo	5
Equação 16: Tangente de Ângulo de Carga	5
Equação 17: Equação para definição de Banco Capacitivo em função de P e Q	5
Equação 18: Igualdade para Potências Ativas	6
Equação 19: Substituição de variáveis para Equação 17	6
Equação 20: Corrente Circulante antes da Correção de FP	6
Equação 21: Corrente Circulante após a Correção de FP	6
Equação 22: Lei de Joule	6
Equação 23: Potência Ativa por Fase em função de P_{cv} e η	11

Equação 24: Potência Reativa por Fase em função de P_f e FP	11
Equação 25: Relação entre Q_f e V_f	16

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica;
MT	Média Tensão;
V	Volts (Unidade de medida no Sistema Internacional para tensão elétrica);
kV	Quilo Volts ($1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$);
A	Ampère (Unidade de medida no Sistema Internacional para corrente elétrica);
W	Watts (Unidade de medida no Sistema Internacional para potência elétrica ativa);
kW	Quilo Watts ($1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$);
VA	Volt-Ampère (Unidade de medida no Sistema Internacional para potência elétrica aparente);
VA _r	Volt-Ampère reativo (Unidade de medida no Sistema Internacional para potência elétrica reativa);
kVA _r	Quilo Volt-Ampère reativo ($1 \text{ kVA}_r = 10^3 \text{ VA}_r$);
MIT	Motor de Indução Trifásico;
QGF	Quadro Geral de Força;
CCM	Centro de Controle de Motores;
FP	Fator de Potência;
m	Metros (Unidade de medida para distância);
mm ²	Milímetros quadrados (Unidade de área para seção de condutores elétricos);
Ω	Ohms (Unidade de medida no Sistema Internacional para resistência/impedância elétrica);
m Ω	Mili Ohms ($1 \text{ m}\Omega = 10^{-3} \Omega$);
H	Henry (Unidade de medida no Sistema Internacional para indutância elétrica);
μH	Micro Henry ($1 \mu\text{H} = 10^{-6} \text{ H}$).

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	TRIÂNGULO DE POTÊNCIAS E CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA	3
3	DIFERENCIAÇÃO DE BARRAMENTOS PARA INSTALAÇÃO DE BANCOS DE CAPACITORES	8
3.1	Correção de Fator de Potência no Primário do Transformador	8
3.2	Correção de Fator de Potência no QGF	9
3.3	Correção de Fator de Potência nos CCMs	9
3.4	Correção de Fator de Potência nos MITs	10
4	PLANTA INDUSTRIAL	11
4.1	Diagrama Unifilar	14
5	TESTES E RESULTADOS	16
5.1	Cálculos para Bancos de Capacitores e Correção de FP	19
5.1.1	Correção do Fator de Potência no Primário do Transformador	21
5.1.2	Correção do Fator de Potência no QGF	22
5.1.3	Correção do Fator de Potência nos CCMs	24
5.1.4	Correção do Fator de Potência nos terminais dos MITs	28
5.2	Discussões sobre os Resultados Obtidos	33
6	CONCLUSÕES	39
	REFERÊNCIAS	41
	APÊNDICE: SIMULAÇÕES MATLAB SIMULINK	42
	ANEXO A: BANCOS DE CAPACITORES UTILIZADOS	57
	ANEXO B: TABELAS DE REFERÊNCIA	62

1 INTRODUÇÃO

A ANEEL (Agência Nacional de Engenharia Elétrica) é responsável por monitorar o sistema elétrico brasileiro, para isso a ANEEL utiliza a Resolução Normativa nº 1000/2021 que reúne direitos, deveres dos consumidores e de todas empresas e concessionárias responsáveis pelos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

Os consumidores de energia elétrica são divididos em dois grupos principais, Grupo A (consumidores de energia de alta e média tensão) e Grupo B (consumidores de baixa tensão). Os consumidores do Grupo B são do tipo monômios e, portanto, pagam apenas pela energia elétrica ativa consumida, já o Grupo A, na qualidade de consumidores binômios, além de pagarem pela demanda ativa e energia elétrica ativa consumida também tem obrigações com relação a potência reativa que injetam no sistema elétrico brasileiro. Com a injeção ou o consumo excessivo de energia reativa na rede pode afetar a qualidade da energia, podendo gerar alteração na tensão da rede local e sobrecarregar elementos da rede elétrica, podendo gerar inclusive maior desgaste de componentes, como transformadores e fiação elétrica, reduzindo a vida útil desses componentes. Devido a esse possível grande impacto na rede, a ANEEL por meio das concessionárias de elétrica monitora os fatores de potência de consumidores do Grupo A e caso alguma indústria não estiver com fator de potência menor que 0,92 receberá multas e sanções devido a reativos excedentes. Assim a utilização de bancos de capacitores é fundamental para evitar gastos extras e de certa forma desnecessários.

Pensando por esse lado, este trabalho visa não apenas corrigir o fator de potência de uma indústria, mas também analisar qual é o melhor ponto na instalação elétrica para correção do fator de potência. Ou seja, verificar, a partir de uma simulação em MatLab Simulink, quais são os impactos elétricos e financeiros dentro do sistema elétrico de uma instalação elétrica industrial. Visando buscar a melhor solução financeira e de longo prazo para uma indústria que busca não apenas evitar multas, mas também possuir uma margem de fator de potência de segurança caso queira realizar expansões em sua produção, por exemplo.

A definição desse ponto de instalação é relevante porque os efeitos da compensação reativa não se distribuem de maneira uniforme por todo o sistema elétrico. Os benefícios obtidos são percebidos principalmente nos componentes

localizados a montante do ponto de conexão do banco de capacitores. Dessa forma, duas alternativas capazes de produzir o mesmo fator de potência no ponto de medição da concessionária podem apresentar comportamentos diferentes nos circuitos internos da indústria (Sousa, 2023).

De acordo com Mamede Filho (2017), a compensação pode ser realizada de forma centralizada, setorial ou individual. Na configuração centralizada, o banco de capacitores é normalmente instalado próximo ao quadro geral de força ou ao secundário do transformador. Essa disposição reduz a potência reativa fornecida pela unidade de transformação, diminuindo sua potência aparente de operação. Entretanto, os circuitos localizados entre o quadro geral e as cargas continuam conduzindo as correntes associadas à potência reativa consumida pelos equipamentos.

Nesse sentido, a avaliação técnico-econômica torna-se importante para comparar os investimentos necessários e os benefícios proporcionados durante a vida útil dos equipamentos. Em estudos de eficiência energética industrial, Lima et al. destacam que a decisão entre diferentes alternativas deve considerar não apenas o desempenho técnico imediato, mas também a relação entre o investimento realizado e as economias obtidas ao longo do período de operação.

Portanto, a localização do banco de capacitores constitui uma variável importante no planejamento da compensação reativa industrial. Sua definição adequada pode contribuir para que os benefícios da correção sejam direcionados aos trechos da instalação que apresentam maiores limitações ou oportunidades de melhoria, permitindo uma utilização mais eficiente da infraestrutura elétrica existente.

2 TRIÂNGULO DE POTÊNCIAS E CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA

Para compreender o procedimento para correção do fator de potência industrial é importante relembrar os conceitos de potências ativa, reativa e aparente e suas relações indicadas pelo triângulo de potências. A potência aparente (S) é calculada como o produto do módulo entre os valores de tensão de fase (V_f) e corrente elétrica (I). Ela é genericamente tratada como a potência total do sistema elétrico e possui unidade de medida o VA (Volt-Ampère). Conforme Mamede Filho, 2017 tem-se para a equação da potência aparente monofásica:

$$S = V_f \cdot I \quad (1)$$

A potência ativa (P), é aquela que tem influência ativa no sistema, ou seja, que realiza trabalho, seja através de calor, luminosidade ou movimento e possui como unidade de medida o W (Watts). Já a potência reativa (Q) representa aquela parcela que está presente no sistema, mas não é consumida, ela é responsável pela excitação de elementos, sustentando campos magnéticos, por exemplo para que a potência ativa possa realizar trabalho de forma mais eficiente, e possui VAr (Volt-Ampère reativo) como unidade de medida. Para análise em sistemas trifásicos simétricos e equilibrados, aqui simbolizado como (3f) a equação acima pode ser reescrita como:

$$S_{3f} = 3 \cdot V_f \cdot I \quad (2)$$

ou utilizando parâmetros em função da tensão de linha (V_{ff}), descrito por:

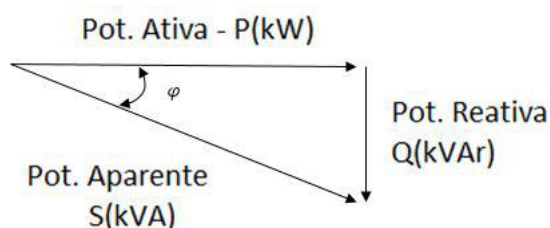
$$V_{ff} = \sqrt{3} \cdot V_f \quad (3)$$

Ao substituir a equação 3 em 2, tem-se então:

$$S_{3f} = \sqrt{3} \cdot V_{ff} \cdot I \quad (4)$$

Essas possuem uma relação direta entre si através do triângulo de potências, representado na Figura 1:

Figura 1: Triângulo de Potências



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com base na Figura 1 acima, pode-se relacionar as três potências da seguinte

forma:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (5)$$

onde P e Q podem ser descritos como:

$$P = S \cdot \cos(\omega) \quad (6)$$

$$Q = S \cdot \sin(\omega) \quad (7)$$

substituindo S da equação 1 nas equações 3 e 4 tem-se:

$$P_f = V_f \cdot I \cdot \cos(\omega) \quad (8)$$

$$Q_f = V_f \cdot I \cdot \sin(\omega) \quad (9)$$

P e Q também podem ser reescritos de forma trifásica conforme as equações 8 e 9 para elementos trifásicos como:

$$P_{3f} = \sqrt{3} \cdot V_{ff} \cdot I \cdot \cos(\omega) \quad (10)$$

$$Q_{3f} = \sqrt{3} \cdot V_{ff} \cdot I \cdot \sin(\omega) \quad (11)$$

finalmente chegando na equação que representa a potência reativa complexa:

$$S_{3f} = V_{ff} \cdot I \cdot \cos(\omega) + j \cdot V_{ff} \cdot I \cdot \sin(\omega) \quad (12)$$

Na equação 12, para separação entre valores de potências ativa e reativa utiliza-se convencionalmente números imaginários para a potência reativa.

Através da Figura 1, pode-se calcular o valor de $\cos(\omega)$:

$$\cos(\omega) = FP = \frac{P_{3f}}{S_{3f}} \quad (13)$$

tem-se assim a equação para o cálculo de Fator de Potência (FP). Assim o FP pode ser interpretado como a porcentagem da potência aparente que realiza trabalho. Vale a pena lembrar que ω é denominado ângulo de carga ou da impedância. A equação 13 também pode ser reescrita da seguinte forma:

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (14)$$

O fator de potência pode ser medido utilizando os parâmetros por fase ou trifásicos, para este caso não ocorrerá distinção, visto que tanto a fonte quanto as cargas são equilibradas. As equações apresentadas a seguir se referirão apenas a medidas de potências trifásicas e de forma a simplificar a simbologia no equacionamento a distinção “3f” não será mais utilizada.

O ângulo de carga, apresentado na Figura 1 como ângulo ω , mede o defasamento angular entre tensão e corrente. Essa diferença angular está relacionada ao comportamento da carga elétrica. Uma carga elétrica indutiva, apresentará um ângulo de carga positivo, ou seja, a corrente estará atrasada com relação a tensão.

Assim analisando a Equação 12, ao introduzir um ângulo de carga positivo a potência reativa indutiva (Q_L) apresentará valor positivo. Uma carga elétrica capacitiva apresenta um comportamento oposto à carga indutiva. A carga capacitiva apresenta um ângulo de carga negativo, ou seja, a corrente está adiantada com relação a tensão. E ao analisar novamente a Equação 5, introduzir um ângulo negativo resultará em uma potência reativa capacitiva, apresentando valor negativo.

A partir da análise de valores, pode-se adicionar a um sistema, por exemplo, uma carga capacitiva para minimizar os efeitos de uma carga indutiva. O que ocorre eletricamente é que tais cargas realizam trocas de energia entre si como um “vai e volta”, devido a esse efeito, pode-se matematicamente dizer que a potência reativa foi reduzida no sistema. Esse é o princípio para a correção do fator de potência.

Em sistemas elétricos industriais, devido à grande utilização de motores elétricos e transformadores, por exemplo, grande parte das cargas presentes na rede hoje em dia é indutiva. Assim para correção de fator de potência, utiliza-se, de forma geral, banco de capacitores. No entanto, para uma correção de FP efetiva, é calculada a potência reativa capacitiva necessária conforme a equação 15:

$$Q_C = P[\tan(\omega_{medido}) - \tan(\omega_{desejado})] \quad (15)$$

Na equação 15, ω_{medido} representa o ângulo de carga medido antes da correção do fator de potência e $\omega_{desejado}$ representa o fator de potência desejado após a adição do banco de capacitores. Além disso, segundo o triângulo de potências da Figura 1:

$$\tan(\omega) = \frac{Q}{P} \quad (16)$$

assim, ao substituir a equação 16 na equação 15 tem-se:

$$Q_C = P \left[\left(\frac{Q_{medido}}{P_{medido}} \right) - \left(\frac{Q_{desejado}}{P_{desejado}} \right) \right] \quad (17)$$

Na equação 17 é indicado que os ângulos dos FPs medido e desejado foram substituídos pelas potências possibilitando utilizar resultados da simulação de forma direta para o cálculo da potência reativa capacitiva necessária para a correção do FP. No caso deste trabalho a correção do FP terá como objetivo o FP desejado de 0,95 indutivo e, portanto, o valor de $\left(\frac{Q_{desejado}}{P_{desejado}} \right)$ será sempre constante, podendo ser calculado, segundo a equação 13 como:

$$\cos(\omega_{desejado}) = 0,95$$

$$\omega_{desejado} = \arccos(0,95) = 0,3176 \text{ rad} = 18,1949^\circ$$

assim, tem-se que:

$$\tan(\omega_{desejado}) = 0,3287$$

A partir da análise da equação 17, nota-se a presença de três variáveis para a potência ativa, porém como a potência ativa é sempre a mesma após a correção do FP, pode-se definir que:

$$P = P_{medido} = P_{desejado} \quad (18)$$

Simplificando a equação 17 tem-se então que:

$$Q_C = P_{medido} \left[\left(\frac{Q_{medido}}{P_{medido}} \right) - 0,3287 \right] \quad (19)$$

Portanto a equação 19, matematicamente representa que após medidas as potências ativas e reativas, para obter um fator de potência de 0,95 indutivo, necessita-se instalar um banco de capacitores que possibilitem fornecer ao sistema elétrico industrial uma potência reativa capacitiva dada por Q_C . No entanto como os valores de Q_C não são exatos, neste trabalho arredondou-se os valores para cima de acordo com o catálogo de banco de capacitores comerciais fornecido pela WEG, apresentado no Anexo B.

A instalação de bancos de capacitores reduz a corrente a montante na indústria. Para analisar esta afirmação a partir da equação 4 isola-se a corrente para analisar o seu comportamento antes e depois da correção de FP:

$$I_{antes} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} \cdot V_{ff}} \quad (20)$$

Devido às cargas serem majoritariamente indutivas a potência reativa Q apresenta valor positivo. Ao introduzir uma capacitância Q_C a nova corrente definida como:

$$I_{depois} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2 - Q_C^2}}{\sqrt{3} \cdot V_{ff}} \quad (21)$$

Por comparação entre as equações 20 e 21 tem-se que os divisores são idênticos, diferenciando apenas pelos elementos nas raízes.

$$\begin{aligned} \sqrt{P^2 + Q^2} &> \sqrt{P^2 + Q^2 - Q_C^2} \\ \Rightarrow I_{antes} &> I_{depois} \end{aligned}$$

Vale lembrar que, conforme apresentado em Sousa (2023), o banco de capacitores atua apenas a montante do ponto em que foi instalado. Devido a esta redução no valor da corrente, o sistema reduz as perdas por efeito Joule:

$$P_{perda} = R \cdot I^2 \quad (22)$$

Onde P nesta equação se refere a parcela de potência ativa perdida devido a

resistências (R) presente nos condutores e barramentos na indústria. Assim, com a redução da corrente depois da instalação do banco de capacitores, a queda de tensão nos condutores do sistema industrial é reduzida, melhorando o perfil de tensão e possibilitando melhor operação das cargas industriais (Sousa, 2023).

3 DIFERENCIAÇÃO DE BARRAMENTOS PARA INSTALAÇÃO DE BANCOS DE CAPACITORES

Segundo Mamede Filho (2017), a localização do banco de capacitores dentro de uma instalação industrial altera diretamente os efeitos elétricos obtidos pela correção do fator de potência. A escolha do ponto de compensação não muda apenas o valor do fator de potência medido pela concessionária. Ela modifica a circulação da potência reativa, as perdas ôhmicas, o nível de tensão, a capacidade disponível dos transformadores e o comportamento operacional da planta.

Sousa (2023) analisou essas modificações por meio da dedução de equações matemáticas e da validação dos resultados em uma instalação industrial hipotética. O autor demonstrou que os benefícios proporcionados pelos bancos de capacitores dependem do ponto em que são conectados ao sistema, pois a compensação reduz a circulação de potência reativa e a corrente elétrica principalmente nos componentes localizados a montante do ponto de instalação. Com isso, a alocação dos capacitores no secundário dos transformadores, nos barramentos dos Centros de Controle de Motores (CCMs) ou próximo às cargas pode produzir efeitos distintos, como a liberação de capacidade em transformadores e alimentadores, a redução das perdas resistivas e a melhoria do nível de tensão. O estudo evidencia, portanto, que a localização do banco deve ser definida conforme o componente ou trecho da instalação que se pretende beneficiar, e não apenas com base no fator de potência global da unidade consumidora.

Mamede também destaca que o capacitor corrige o fator de potência apenas no trecho a montante do banco de capacitores. Na prática isso significa que, ao utilizar um banco de capacitores, por exemplo, nos CCMs da indústria o fator de potência estará corrigido no trajeto entre o CCM e o ponto de medição da concessionária, permitindo circulação de potência complexa igual antes da correção entre o motor elétrico e seu respectivo CCM.

3.1 Correção de Fator de Potência no Primário do Transformador

Em uma instalação industrial, o primário do transformador normalmente corresponde a um trecho de média tensão. A correção do fator de potência nesse ponto tende a ser menos vantajosa, pois os bancos de capacitores em média tensão apresentam custos mais elevados. Os benefícios dessa configuração concentram-se

na centralização da compensação reativa em um único ponto, o que pode simplificar a instalação, a operação e a manutenção do banco, além de evitar a cobrança por excedentes reativos. No entanto, os transformadores, demais circuitos internos da indústria continuam sujeitos à circulação de potência reativa e não se beneficiam da redução da corrente e continuam apresentando elevadas perdas elétricas e quedas de tensão.

A correção em média tensão acaba por não reduzir a carga do transformador o que acarretará perdas internas, causando queda de tensão em circuitos a jusante do transformador. Estes problemas podem acarretar em grandes perdas ao analisar parâmetros internos da indústria, no entanto pode ser evitado ao instalar capacitores em trechos de baixa tensão (Sousa, 2023).

3.2 Correção de Fator de Potência no QGF

A correção de fator de potência no barramento de QGF é uma das arquiteturas mais utilizadas em instalações industriais porque oferece um equilíbrio relativamente favorável entre desempenho elétrico, simplicidade operacional e custos.

Ao instalar o banco de capacitor no barramento do QGF a potência reativa é reduzida na rede elétrica, no transformador e no barramento principal. No entanto apresenta o mesmo valor no trecho entre os circuitos terminais, CCMs e o próprio QGF. Como a potência reativa reduz, reduz-se também o módulo da corrente. Isso proporciona uma menor queda de tensão e assim preservando um nível de tensão melhor para chegar aos circuitos terminais.

Assim o banco de capacitores no QGF oferece um único ponto de manutenção, facilidade de expansão e menor quantidade de equipamentos distribuídos. Além disso reduz a potência transferida pelo transformador, reduzindo as perdas internas e melhorando o perfil de tensão da instalação.

3.3 Correção de Fator de Potência nos CCMs

A correção de FP nos Centros de Controle de Motores (CCMs) já se torna uma correção de compensação distribuída, pois cada um dos CCMs terá um banco de capacitores individual. Essa solução visa aproximar ainda mais os capacitores dos terminais de motores, que são altamente indutivos.

Essa solução permite circulação de menor corrente complexa apenas nos trechos dos circuitos de alimentação a montante dos CCMs, o que reduz

significativamente a influência de reativos na indústria e tende a elevar a tensão para valores consideravelmente próximos da tensão nominal dos MITs.

Conforme Mamede Filho (2017), essa solução apresenta elevada eficiência em instalações industriais extensas, nas quais os terminais das cargas estão localizados a centenas de metros do QGF. Dessa forma, constitui uma alternativa adequada para indústrias com setores independentes e fisicamente afastados, como as de mineração, siderúrgica, papel e celulose assim como de refino de petróleo e gás.

3.4 Correção de Fator de Potência nos MITs

Essa correção de fator de potência visa minimizar completamente a circulação de potência reativa excessiva em todos os trechos da indústria. Teoricamente essa solução é ótima, pois reduz influências indutivas na indústria. Isso reduz a queda da tensão elétrica, deixando-a praticamente sem perdas.

Apesar dessa solução ser considerada adequada por evitar perdas tal solução pode oferecer diversos riscos para o sistema elétrico da indústria como sobretensão nos motores, possível desmagnetização de motores e ferorressonância magnética.

Nesse contexto, Misu (2025), faz uma análise transitória com o objetivo de estudar o fenômeno da ferorressonância quando da conexão de bancos de capacitores em terminais de motores de indução trifásicos. Por meio de simulações no MatLab Simulink, a autora compara bancos dimensionados dentro dos limites recomendados com bancos superdimensionados, verificando a ocorrência de elevados picos de corrente quando os limites de segurança são ultrapassados.

Misu (2025) concluiu que, quando os bancos de capacitores são dimensionados dentro dos limites recomendados pela literatura, as oscilações de corrente decorrentes da descarga do banco após a abertura da chave permanecem em níveis seguros, sem comprometer a integridade do sistema. Entretanto, os bancos superdimensionados provocaram picos acentuados de corrente, indicando a ocorrência da ferorressonância e aumentando os riscos de aquecimento excessivo, degradação do isolamento e danos aos motores e capacitores. Assim, caso a potência necessária para a correção do fator de potência ultrapasse os limites de segurança, a autora recomenda a instalação do banco em um ponto central da instalação ou a adoção de dispositivos de manobra independentes para o motor e o banco de capacitores.

4 PLANTA INDUSTRIAL

De forma a garantir maior familiaridade com o sistema industrial e por já haver medidas calculadas, para este trabalho de graduação foi utilizada como planta industrial a mesma do projeto de Instalações Elétricas Industriais no semestre 2024/2.

Os dados dos Motores Elétricos de Indução desse projeto estão presentes na Tabela 1.

Tabela 1: Dados dos MITs

Motores	Tensão Nominal (V)	Número de Polos	Potência (cv)	% P_N	Número de Motores
Motor A	380	4	40	100	6
Motor B	380	4	20	100	8
Motor C	380	4	150	100	2
Motor D	380	2	25	100	4
Motor E	380	2	5	100	15

Fonte: Projeto Elétrico Industrial 2024/2.

A correção do fator de potência foi realizada considerando-se como padrão todas as máquinas funcionando simultaneamente e com 100% de sua Potência Nominal (P_N) no eixo.

No projeto em questão utilizou-se parâmetros do catálogo de motores de indução trifásicos WEG (2005), apresentados no Anexo B. Para implementação no MatLab Simulink modelou-se os motores como carga RL trifásica conectada em estrela considerando que o objetivo é analisar o sistema em regime permanente. Os parâmetros da carga são calculados por fase a partir das potências ativa e reativa. Para o cálculo de potência ativa por fase segundo Mamede Filho (2017) tem-se:

$$P_f = \frac{736 \cdot P_{cv}}{3 \cdot \eta_{\%} \cdot 0,01} \quad (23)$$

Ao qual P_{cv} é a potência nominal do motor em cavalos e $\eta_{\%}$ o rendimento do motor (em porcentagem) com 100% da potência nominal no eixo. A potência reativa por fase é calculada em função de P_f .

$$Q_f = P_f \cdot \tan(\arccos(FP)) \quad (24)$$

Os valores de rendimento ($\eta_{\%}$) e FP segundo referências da WEG estão presentes na Tabela 2.

Tabela 2: Dados do catálogo da WEG para $\eta\%$ e FP

Motores	Potência (cv)	Número de Polos	Rendimento $\eta\%$	Fator de Potência (FP)
Motor A	40	4	91,7	0,85
Motor B	20	4	90,2	0,83
Motor C	150	4	93,5	0,87
Motor D	25	2	89,5	0,88
Motor E	5	2	85,6	0,88

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com base nos valores da Tabela 2, tem-se os valores de P_f e Q_f para cada motor apresentado na Tabela 3.

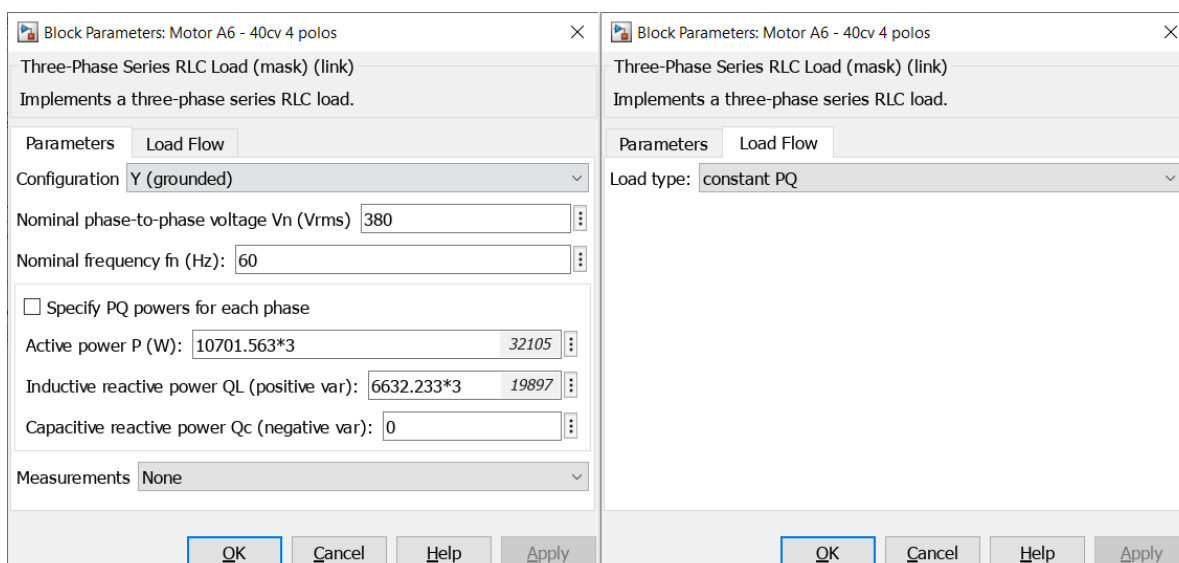
Tabela 3: Potências Nominal, Ativa e Reativa por fase

Motores	Potência (cv)	P_f (W)	Q_f (Var)
Motor A	40	10701,563	6632,233
Motor B	20	5439,763	3655,543
Motor C	150	39358,289	22305,370
Motor D	25	6852,886	3698,796
Motor E	5	1433,022	773,463

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na Figura 2 é mostrada a configuração do motor A como exemplo de implementação de parâmetros no MatLab Simulink.

Figura 2: Configuração de Motores Simulink (Motor A)

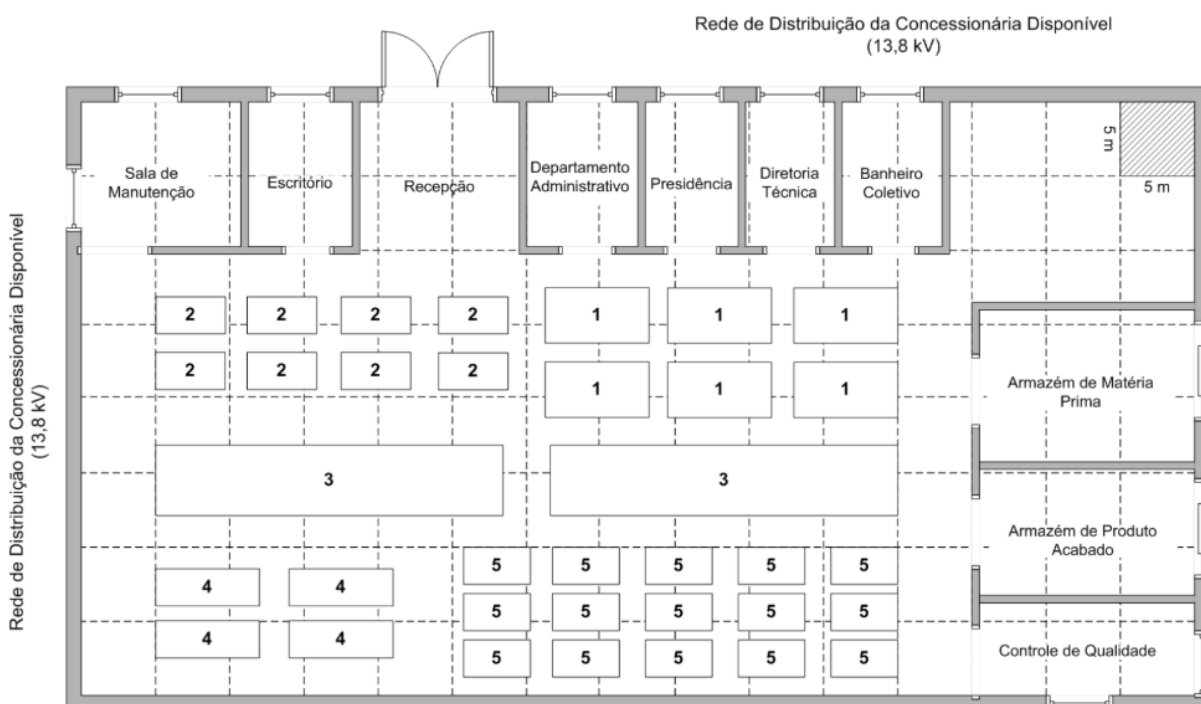


Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os parâmetros de P_f e Q_f são multiplicados por 3 resultando nas potências ativas e reativas trifásicas do motor. O modelo de carga para o Load Flow (fluxo de carga) adotado é a de potência constante (PQ), esse modelo de carga foi escolhido considerando simplicidade na modelagem do motor e é adequado desde que o objetivo é estudar os efeitos em termos de tensão e corrente em regime permanente.

Ainda com base no projeto de instalações elétricas, a planta baixa da indústria está apresentada na Figura 3.

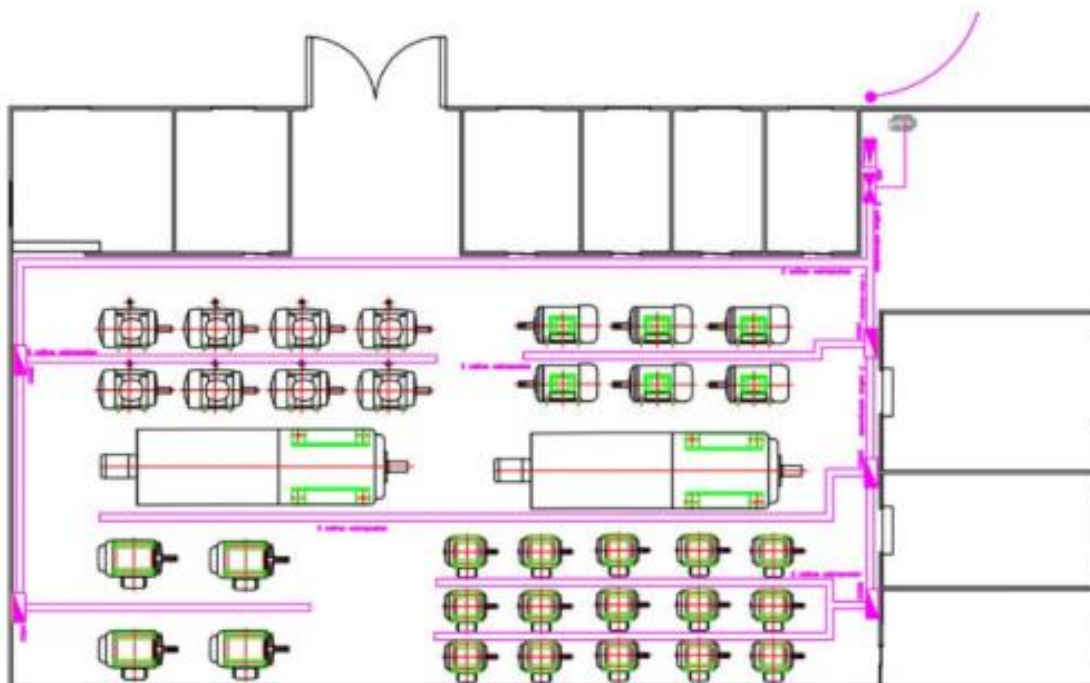
Figura 3: Planta baixa da indústria



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Nota-se que na planta baixa da indústria ilustrada na Figura 3 os motores estão numerados como motores de 1 a 5, que se referem, respectivamente, as letras de A a E apresentadas na Tabela 1. Na Figura 4 é apresentada a planta baixa desenhada em AutoCAD indicando as posições dos CCMs e as passagens dos condutores na instalação elétrica.

Figura 4: Planta elétrica Industrial



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os valores medidos para comprimento, seção e condutores por fase, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Dimensionamento de Condutores de PVC/70 °C

Trecho	Comprimento (m)	Seção do Condutor (mm ²)	Condutores por fase	Resistência (mΩ)	Indutância (μH)
QGF	7,44	240	4	0,178	0,528
CCM A	16,2	120	2	1,513	2,312
CCM B	74,7	240	1	7,156	21,202
CCM C	25,1	150	2	1,885	3,575
CCM D	90,2	95	1	21,215	26,080
CCM E	33,81	70	1	10,765	9,829
Motor A	31,29	16	2	21,745	4,868
Motor B	34,13	95	1	8,027	9,868
Motor C	61,72	25	2	27,438	9,528
Motor D	25,59	70	1	8,148	7,440
Motor E	37,79	25	1	33,599	11,668

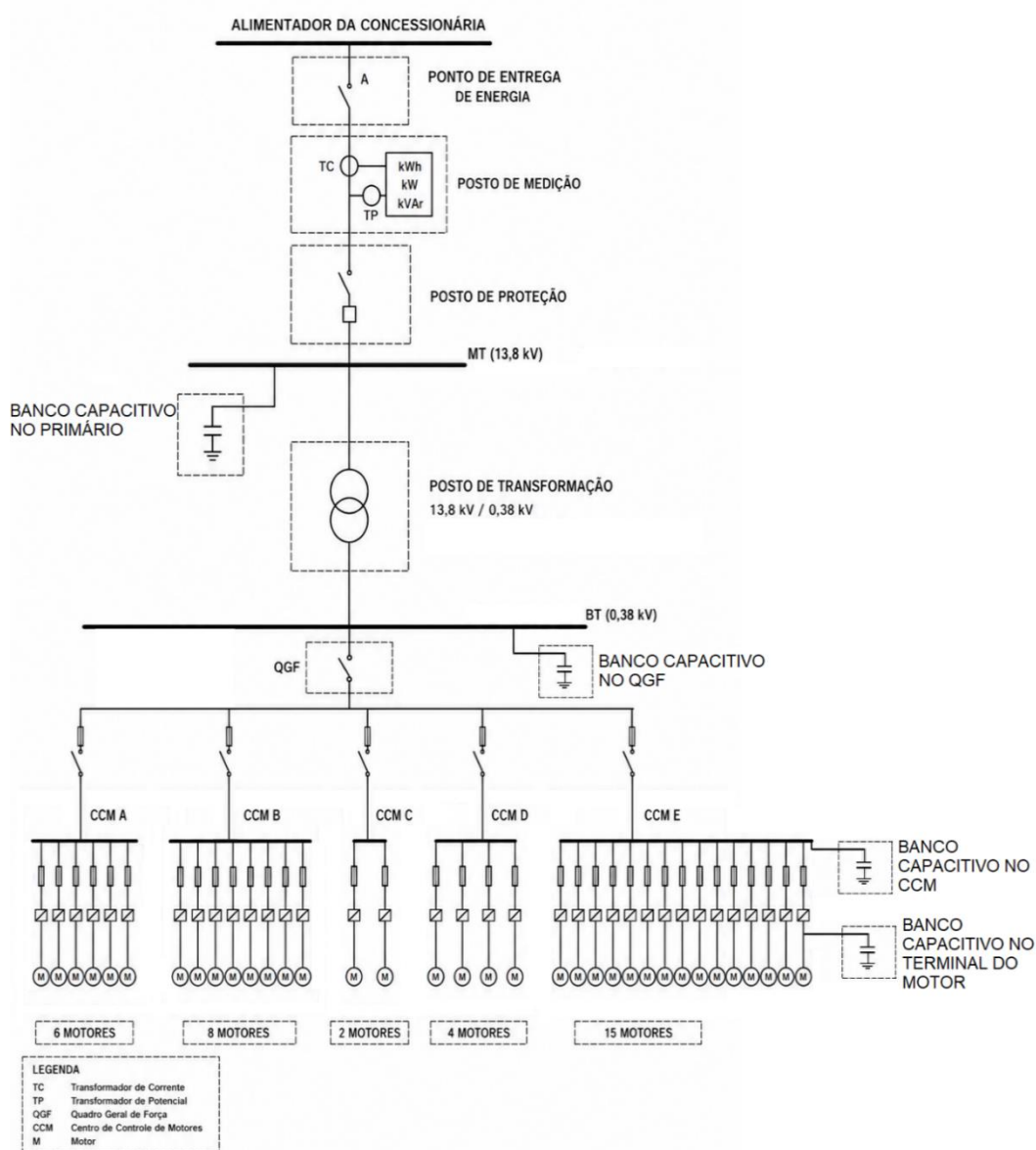
Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.1 Diagrama Unifilar

Como apresentado na Tabela 1, o projeto elétrico apresenta 5 potências diferentes para os MITs, conforme os setores de A a E da instalação. No projeto, também decidiu-se utilizar um transformador de 750kVA com tensões 13,8kV-380V.

Na Figura 5, é apresentado o diagrama unifilar da indústria.

Figura 5: Diagrama Unifilar da indústria



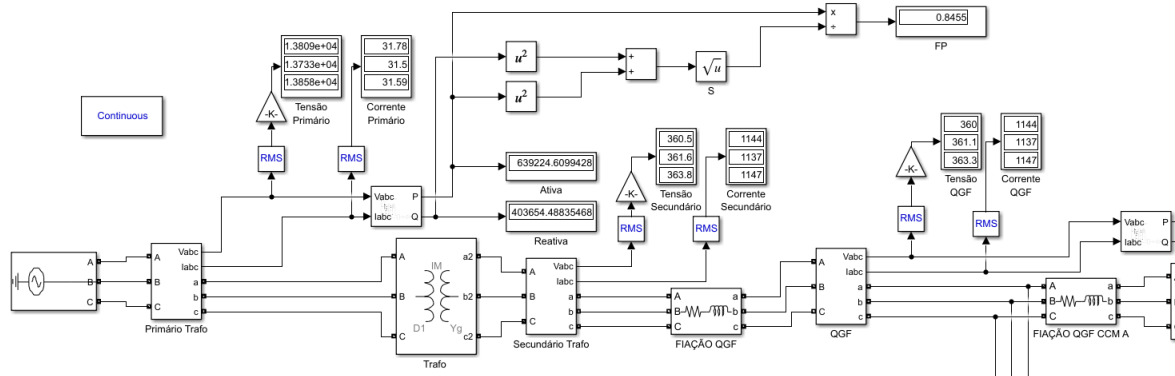
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Vale lembrar que a Figura 5 acima está apresentando os bancos de capacitores de forma simplificada (apenas um banco de capacitor por trecho) de forma a não deixar o diagrama confuso. Assim na simulação a concessionária medirá o fator de potência corrigido, mas as correções em trechos diferentes serão realizadas separadamente e de forma individual, ou seja, apenas em um ponto da indústria por vez.

5 TESTES E RESULTADOS

Na Figura 6 é apresentado parte do diagrama trifilar da indústria implementada no Simulink. Devido a extensão do sistema industrial, optou-se por apresentar o diagrama trifilar em partes.

Figura 6: Trecho entre entrega de energia e QGF



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O sistema elétrico equivalente foi modelado como uma fonte de tensão trifásica balanceada e aterrada. Para medir a tensão e a corrente em toda a simulação utilizou-se o bloco do Simulink do medidor trifásico com tensão medida por fase. As medições são colhidas em todos os barramentos da indústria.

A tensão e corrente de linha (V_{ab} e I_{ab}) serão medidas passando por um bloco RMS de forma a medir o valor RMS dos sinais. No ramo de conexão do display de tensão nota-se também a presença de um modulador K em formato triangular. Ele foi implementado realizando a multiplicação da tensão por $\sqrt{3}$ de forma a apresentar no display as tensões de linha. Essa adaptação foi utilizada para resolver problemas que foram encontrados com relação a medição da potência reativa que são calculados em função da tensão de fase V_f segundo a Equação 25:

$$Q_f = \frac{V_f^2}{X} \quad (25)$$

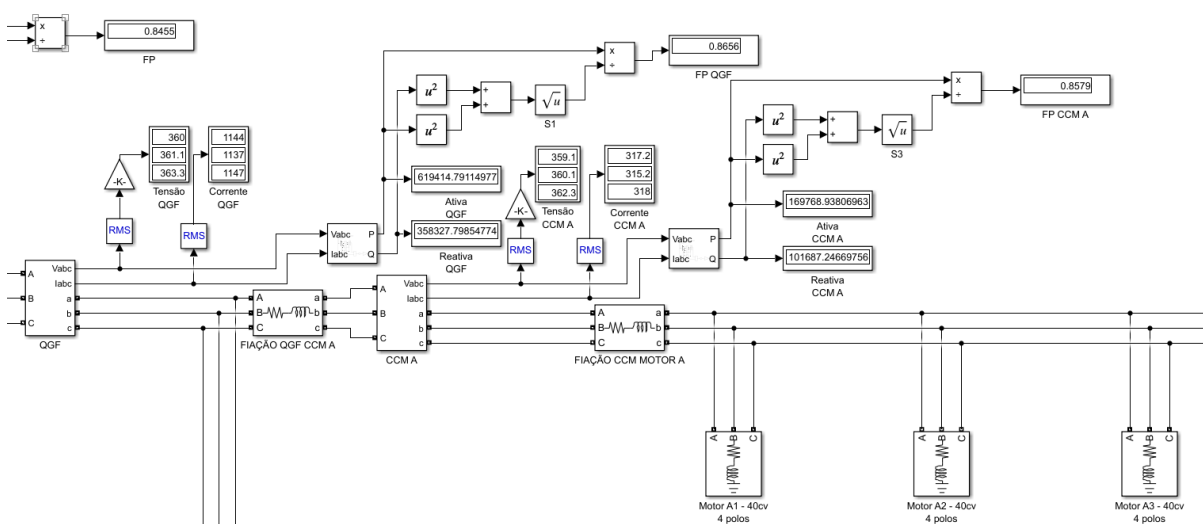
As medidas de tensão e corrente são inseridas em um bloco para medição de potências ativa e reativa que apresentarão seus valores em displays denominados como “ativa” e “reativa”. Esses valores colhidos em média tensão serão utilizados para a medição da concessionária.

Por fim, para a medição de fator de potência utilizou-se uma série de blocos para realizar o equacionamento do FP a partir de P e Q. Primeiramente eleva-se os

valores de P e Q ao quadrado e calcula-se a raiz da soma para calcular o valor da potência aparente S, conforme a equação 5. Por fim, divide-se o valor da potência ativa P pela potência aparente S, conforme a equação 14 que por fim é apresentado em um display, apresentado como “FP” na Figura 6.

Seguindo a jusante, pelo transformador, realizou-se a medição de tensão e corrente de forma a analisar as perdas internas do equipamento. Para simular a fiação nos trechos da indústria utilizou-se uma carga RL trifásica em série, seus valores são aqueles calculados segundo a Tabela 4 (Dimensionamento de Condutores de PVC/70 °C). Por fim segue-se para o QGF, onde serão medidas a tensão e corrente do QGF e também calculadas as potências ativa e reativa, e fator de potência, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7: Trecho entre QGF e CCM A



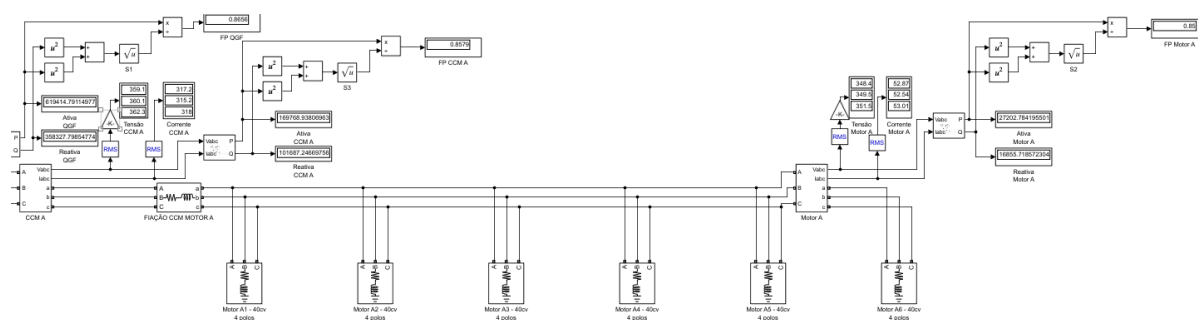
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Continuando pelo CCM A, que apresenta suas medidas calculadas e apresentadas da mesma forma, contando também com sua impedância RL trifásica. Os motores foram adaptados como uma carga trifásica RL em Y aterrada, pois não estamos interessados no comportamento transitório dos motores, apenas nos impactos do fator de potência. O MIT, conforme apresentado no Capítulo 4, é modelado no Simulink como uma carga de potência constante em que as potências ativas e reativas são fornecidas como dados de entrada (Figura 2). Esses valores foram obtidos através do catálogo de motores de indução trifásicos da WEG conforme os dados apresentados no Anexo B. Para implementação da impedância de fiação entre CCMs e motores, será sempre considerada a de pior caso (a de maior distância

e impedância de cada CCM).

A partir da Figura 7, tem-se a continuação dos motores presentes no CCM A. Por fim, para a medição de FP individual dos motores analisa-se apenas o último motor de cada ramo, assim é possível obter a corrente em um único motor. Conforme apresentado na Figura 8 abaixo:

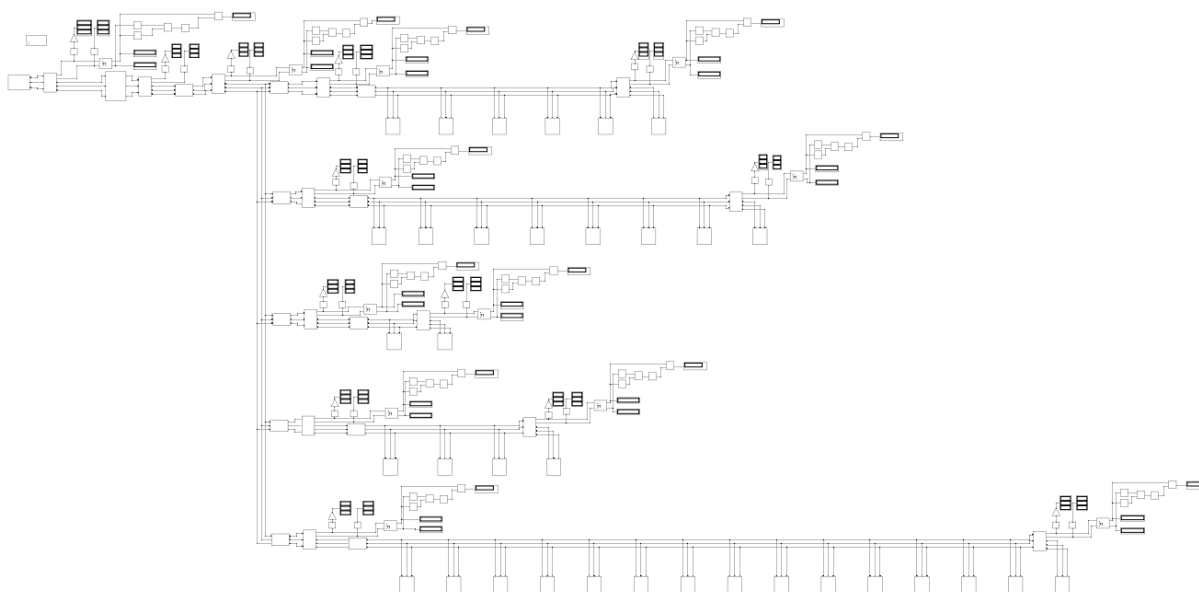
Figura 8: Trecho entre CCM A e motores A



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os trechos para os outros CCMs (B, C, D e E) são montados conforme o CCM A, alterando apenas a impedância da fiação, o número de motores e as potências. Como mencionado anteriormente, o tamanho da simulação e número de blocos não é possível apresentá-la de forma precisa por completo, mas para ter-se registro neste trabalho na Figura 9 é apresentada todo o sistema desta simulação:

Figura 9: Circuito completo de Simulação



Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.1 Cálculos para Bancos de Capacitores e Correção de FP

A simulação apresentada no tópico anterior está com o fator de potência consideravelmente baixo segundo as normas da ANEEL (abaixo de 0,92). Como mencionado anteriormente a correção será para valor mínimo de 0,95. Para a correção de fator de potência utilizou-se como referência as medidas de potência ativa e reativa registradas nos displays da simulação em MatLab Simulink. A Tabela 5 abaixo refere-se à medição das potências ativa e reativa em cada trecho específico antes da correção do FP.

Tabela 5: Potências Ativa e Reativa e FPs medidos

Barramento	Pot. Ativa (kW)	Pot. Reativa (kVAr)	FP Medido
Primário Trafo	639,225	403,654	0,846
QGF	619,415	358,328	0,866
CCM A	169,122	101,687	0,857
CCM B	114,551	76,723	0,831
CCM C	204,236	110,732	0,879
CCM D	71,858	38,689	0,880
CCM E	52,390	27,858	0,883
Motores A	27,203	16,856	0,850
Motores B	14,170	9,521	0,830
Motores C	96,404	54,618	0,870
Motores D	17,858	9,635	0,880
Motores E	3,426	1,848	0,880

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na Tabela 6 são apresentados os valores das potências reativas capacitivas calculadas para cada ponto de alocação de bancos de capacitores empregando a equação 14 para a correção do FP para 0,95 indutivo.

Tabela 6: Valores para Bancos de Capacitores

Ponto de Correção	FP Medido	Qc Mínima (kVAr)
Primário Trafo	0,846	193,552
QGF	0,866	154,736
CCM A	0,857	46,100
CCM B	0,831	39,072
CCM C	0,879	43,603
CCM D	0,880	15,071
CCM E	0,883	10,638
Motores A	0,850	7,915
Motores B	0,830	4,864
Motores C	0,870	22,932
Motores D	0,880	3,766
Motores E	0,880	0,722

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Além disso devido a grande quantidade de cargas indutivas notou-se uma queda considerável de tensão em toda a indústria. O percentual de queda de tensão em relação a tensão nominal da indústria está apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: Porcentagem de Queda de Tensão por Barramento (V_{AB})

Barramento	Tensão Medida (V)	Tensão Nominal (V)	% Queda
QGF	360	380	5,26
CCM A	359,1	380	5,50
CCM B	356,1	380	6,29
CCM C	358,6	380	5,63
CCM D	354,7	380	6,66
CCM E	343,3	380	9,66
Motores A	348,4	380	8,32
Motores B	352,7	380	7,18
Motores C	342	380	10,00
Motores D	352,8	380	7,16
Motores E	337,9	380	11,08

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tensões consideravelmente abaixo da nominal (380V) podem interferir no funcionamento de toda a indústria. Assim, embora o nível de tensão não seja o tópico principal deste trabalho ele sofrerá alterações consideráveis com a correção de FP, logo será também um dos fatores a ser considerados para a solução final.

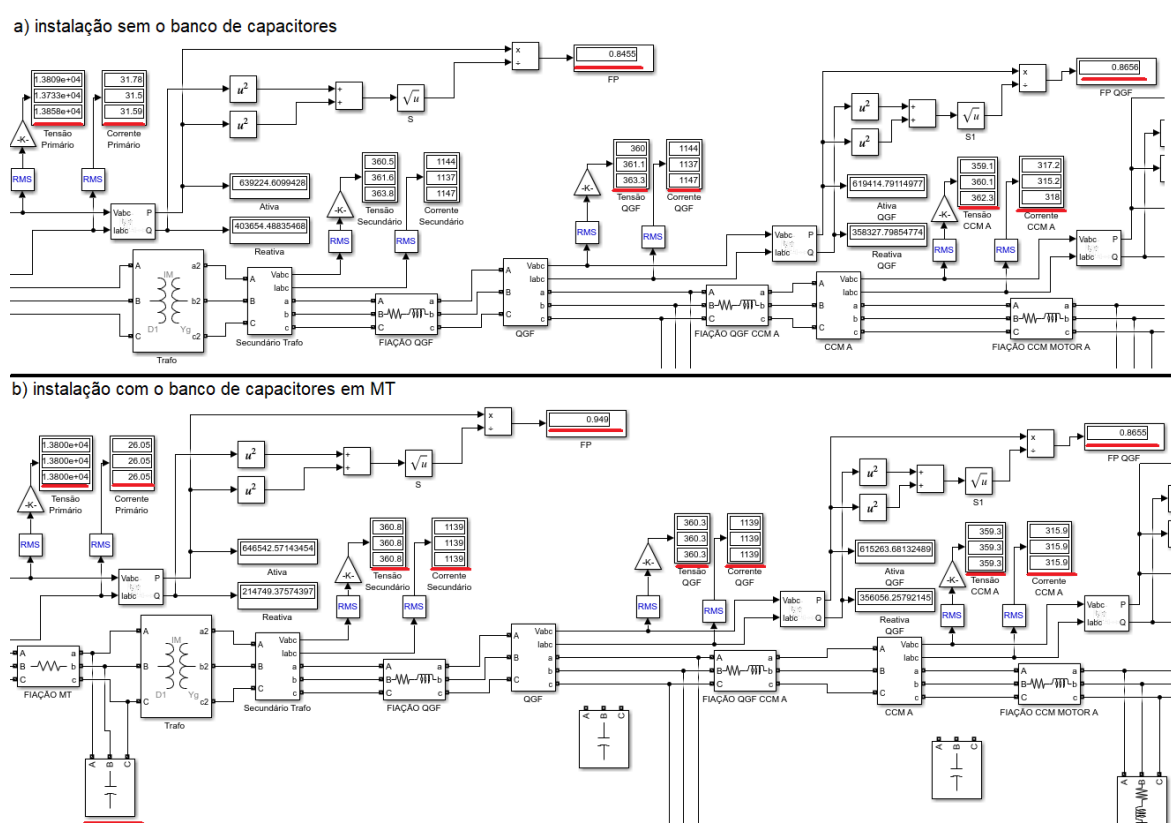
Nos próximos tópicos serão apresentados os resultados referentes a escolha e

projeto dos bancos de capacitores e os impactos de suas alocações nos barramentos da instalação elétrica industrial de referência.

5.1.1 Correção do Fator de Potência no Primário do Transformador

Para correção do fator de potência no primário, em média tensão, será utilizado um banco capacitivo de 200kVar e 13,8kV com ligação delta. Para a correção de FP no primário foi necessário introduzir uma resistência série de valor unitário para o correto funcionamento da simulação. Na Figura 10 é ilustrado o diagrama trifilar do sistema industrial implementado no MatLab Simulink indicando alguns resultados antes e após a instalação do banco de capacitores.

Figura 10: Comparativo de Medidas com Correção do FP em Média Tensão



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir da Figura 10, no primário do transformador notou-se que o FP corrigido é de 0,949, no entanto essa alteração não teve grande impacto no QGF. No primário a corrente foi consideravelmente reduzida, isso pois a corrente “reduzida” é de parcela reativa. Embora notou-se que a tensão antes da correção pareça desequilibrada, todos os ajustes no sistema foram realizados para que fosse equilibrado, então desconsideraremos tal desequilíbrio por ser algo que não pode ser removido.

Assim como esperado os valores a jusante do capacitor, medidos no QGF e CCM A não apresentaram grandes alterações, assim não serão comparados os valores no terminal dos motores e demais CCMs. Ou seja, com exceção dos valores no primário do transformador, o restante permanece semelhante àqueles apresentados nas Tabelas 6 e 7.

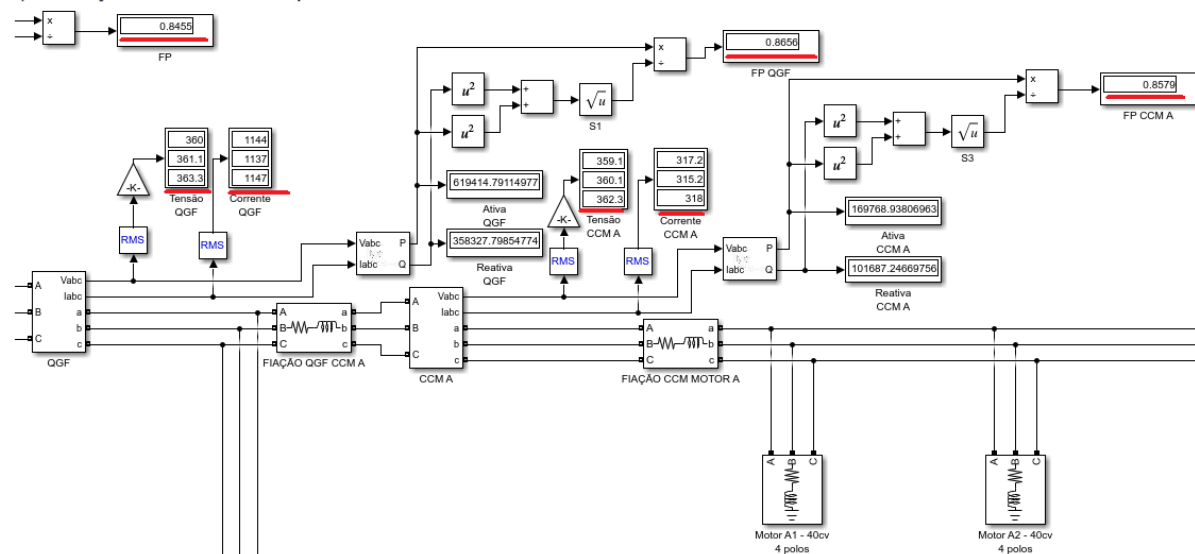
Devido a pouca praticidade de instalar bancos capacitivos em média tensão não foi possível encontrar um capacitor trifásico com 13,8kV e 200kVAr. No entanto foi encontrado um modelo da marca CRIMSA SIM México com potência de 300kVAr e 13,8kV, que suprirá com bastante folga as necessidades desta indústria. Ele custa U\$ 2.395,08; que convertendo para BRL e arredondando parte para impostos de importação será considerado um valor de R\$ 15.000,00. O modelo encontra-se presente no Anexo A.

5.1.2 Correção do Fator de Potência no QGF

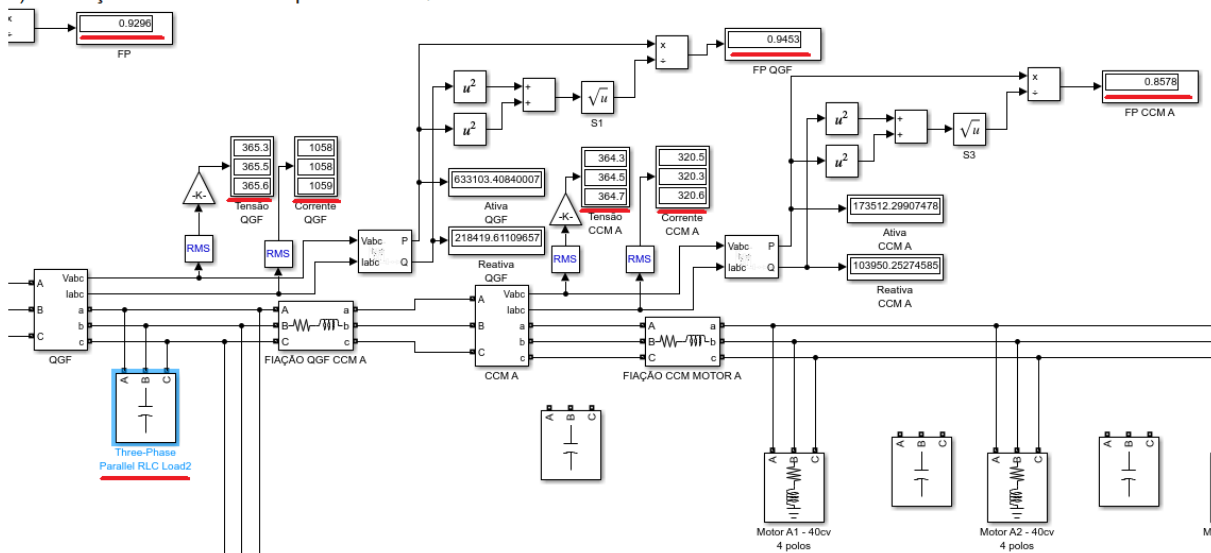
Com base na Tabela 5, o QGF necessita de aproximadamente 154kVAr para que alcance um FP de 0,95 indutivo. Neste projeto são adotados três bancos de capacitores de 50kVAr e um banco de 10kVAr, totalizando 160kVAr com tensão de 380V com conexão em delta. Os resultados da simulação para este caso estão apresentados na Figura 11.

Figura 11: Comparativo de Medidas com Correção de FP no QGF

a) Instalação sem banco de capacitores



b) Instalação com banco de capacitores no QGF



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Analisando primeiramente o valor do display FP QGF pode-se notar que embora não se encontre com o valor esperado de 0,95 encontra-se bem próximo. Pode-se observar também que houve uma elevação de tensão no QGF e redução da corrente, sendo de parte reativa e, portanto, um comportamento esperado.

A partir da Figura 11 pode-se verificar que o fator de potência no primário do transformador está com valor de 0,9296 valor que respeita os limites da ANEEL por uma pequena margem, assim é recomendável que seja utilizado um banco capacitivo ligeiramente maior de forma a proporcionar uma sobra (principalmente se esta indústria pensa em realizar uma expansão em seus maquinários).

Em se tratando dos valores medidos pelos CCMs, pode-se analisar, conforme apresentado pelo CCM A na Figura 11 que os valores de FP não foram melhorados, no entanto a tensão foi levemente aumentada, junto com a corrente. A corrente neste caso sofre aumento pois a carga não foi alterada mas a tensão sofreu um aumento, aumentando assim o consumo de corrente dos motores. A combinação de capacitores escolhida neste projeto é da fabricante WEG composto de 3 capacitores trifásicos com referência UCWT50V40 U28 HD de 50kVAr e 1 capacitor UCWT10V40 N20 HD 10 kVAr, ambos operando em 380V e conexão em delta presentes no catálogo apresentado no Anexo B. O custo e valores por capacitor da WEG é apresentado na Tabela 8:

Tabela 8: Combinação Capacitiva e Custos para QGF

Modelo Banco Cap.	Quantidade	Valor Unitário	Estimado
50kVAr 380V delta	3	R\$ 1.390,00	R\$ 4.170,00
10kVAr 380V delta	1	R\$ 303,00	R\$ 303,00
Total de Investimento			R\$ 4.473,00

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Assim, o custo total para correção de FP a partir do QGF é de R\$ 4.473,00, os modelos escolhidos com os valores acima estão presentes no Anexo A.

5.1.3 Correção do Fator de Potência nos CCMs

Diferentemente das correções de FP anteriores a correção nos CCMs não é uma correção concentrada em um único ponto da indústria. Portanto, para este caso, em específico, serão instalados cinco bancos capacitivos na indústria. Na Tabela 9 são apresentados os resultados para correção do FP para 0,95 indutivo nos CCMs.

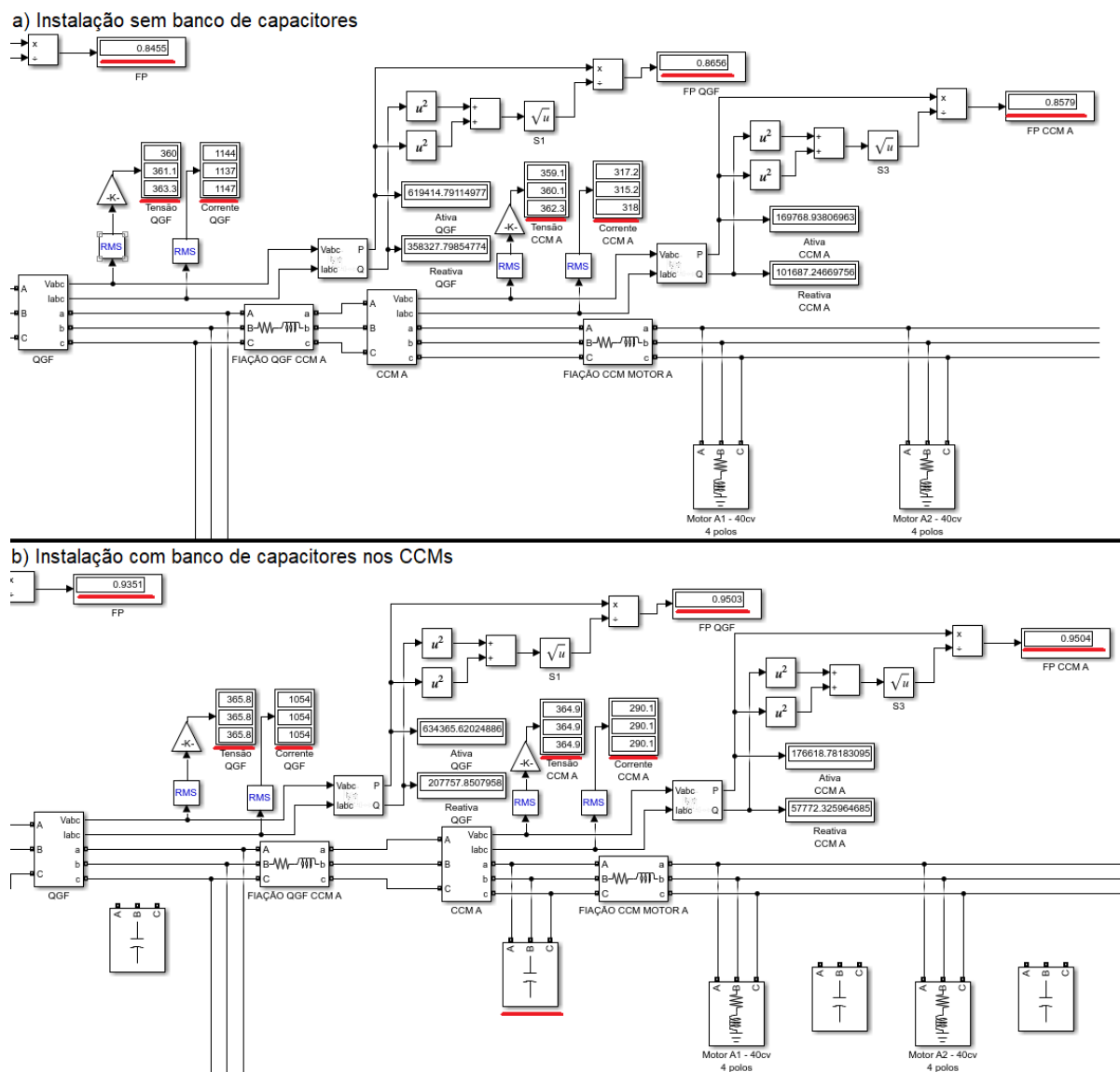
Tabela 9: Correção de Fator de Potência nos CCMs

Ponto de correção	FP Medido	Qc Mínima (kVAr)	Qc Instalada (kVAr)
CCM A	0,857	46,100	50
CCM B	0,831	39,072	45
CCM C	0,879	43,603	50
CCM D	0,880	15,071	17,5
CCM E	0,883	10,638	12,5

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na Figura 12 são apresentados os principais impactos causados na instalação elétrica após a alocação dos bancos de capacitores cujas potências reativas capacitivas são indicadas na Tabela 9.

Figura 12: Comparativo de Medidas com Correção de FP em CCMs (CCM A)



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com base na Figura 12, verifica-se que o CCM A alcançou um valor acima de 0,95, como esperado. No QGF e primário do transformador também observa-se redução de reativos, visto que seus fatores de potência corrigidos foram para 0,9503 e 0,9351, respectivamente, valores esses que foram influenciados por todos os 5 bancos de capacitores instalados nos CCMs.

A partir da Figura 12, pode-se analisar também a influência capacitiva nos valores de tensão, que apresentaram uma melhora em seus perfis em todos os

barramentos, e a corrente que apresentou uma redução consideravelmente elevada (próxima a 8% de seu valor no QGF). Todas as medições das simulações estão apresentadas no Apêndice.

Com a correção de FP nos CCMs para 0,95 indutivo pode-se notar que o novo FP apresentou valor consideravelmente melhor, apenas levemente abaixo do valor desejado. Para melhor comparação os resultados são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Comparação de FPs após Correção nos CCMs

Ponto de correção	FP Pré Correção	FP Pós Correção	% Elevação de FP
MT	0,8455	0,9351	10,60
QGF	0,8656	0,9503	9,79
CCM A	0,8579	0,9504	10,78
CCM B	0,8309	0,9517	14,54
CCM C	0,8791	0,9502	8,09
CCM D	0,8805	0,951	8,01
CCM E	0,8829	0,9481	7,38

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os valores de tensão e corrente medidos antes e depois da correção nos barramentos e circuitos terminais da indústria são apresentados nas Tabelas 11 e 12, respectivamente.

Tabela 11: Nova Queda de Tensão com Correção de FP nos CCMs (V_{AB})

Ponto de Medição	Tensão Pré Correção (V)	Tensão Pós Correção (V)	% Queda Pré Correção	% Queda Pós Correção
QGF	360	365,8	5,26	3,74
CCM A	359,1	364,9	5,50	3,97
CCM B	356,1	362,6	6,29	4,58
CCM C	358,6	364,4	5,63	4,11
CCM D	354,7	360,8	6,66	5,05
CCM E	343,3	349	9,66	8,16
Motor A	348,4	354,1	8,32	6,82
Motor B	352,7	359,2	7,18	5,47
Motor C	342	347,6	10,00	8,53
Motor D	352,8	358,8	7,16	5,58
Motor E	337,9	343,4	11,08	9,63

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 12: Correntes na instalação elétrica após a Correção do FP nos CCMs (I_{AN})

Ponto de Medição	Corrente Pré Correção (A)	Corrente Pós Correção (A)	Corrente Nominal (A)	% Redução
MT	31,78	29,15	-	8,28
QGF	1144	1054	-	7,87
CCM A	317,2	290,1	-	8,54
CCM B	223	197,2	-	11,57
CCM C	372,8	348,5	-	6,52
CCM D	132,4	124,1	-	6,27
CCM E	99,39	93,71	-	5,71
Motor A	52,87	53,47	57,39	-1,13
Motor B	27,88	28,24	29,87	-1,29
Motor C	186,4	188,6	206,2	-1,18
Motor D	33,09	33,52	35,5	-1,30
Motor E	6,626	6,709	7,42	-1,25

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Como pode-se notar, na Tabela 10, a correção de FP nos CCMs apresentou bons valores finais para o FP, inclusive no primário do transformador em média tensão, que ficou 0,9351 de FP corrigido.

Na Tabela 12, pode-se analisar que a corrente, desde a Média Tensão até os CCMs apresentaram valores consideravelmente reduzidos, devido a sua parcela reativa, evitando sobrecarga no sistema. Com a adição de capacitores nos CCMs notou-se que a corrente nos motores foi levemente elevada, isso ocorreu, devido a pequena elevação da tensão após a correção de FP como apresentado na Tabela 12. Considerando que os motores de indução foram modelados como impedância constante (Figura 2) e que a magnitude da tensão foi aumentada nos CCMs, espera-se que a corrente absorvida pelos motores também sofra um aumento.

De forma a facilitar o processo para encontrar capacitores com melhor valor financeiro utilizou-se o Chat GPT na versão 4.0, de forma a também traçar a melhor combinação através de análise de valores de bancos de capacitores WEG disponíveis na internet. No Quadro 1 são apresentadas as combinações de bancos de capacitores para a correção do FP nos CCMs.

Quadro 1: Combinação Capacitiva por CCM

Ponto de Correção	Referência WEG	Dados Capacitores	Qc Total Instalada (kVAr)
CCM A	UCWT50V40 U28 HD	50kVAr 380V delta	50
CCM B	UCWT45V40 U28 HD	45kVAr 380V delta	45
CCM C	UCWT50V40 U28 HD	50kVAr 380V delta	50
CCM D	UCWT17,5V40 Q26 HD	17,5kVAr 380V delta	17,5
CCM E	UCWT12,5V40 N22 HD	12,5kVAr 380V delta	12,5

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com base nas combinações estabelecidas foi possível realizar a cotação dos bancos de capacitores conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 13: Quantidade de Bancos Capacitivos para CCMs

Modelo Banco Cap.	Quantidade	Valor Unitário	Estimado
50kVAr 380V delta	2	R\$ 1.390,00	R\$ 2.780,00
45kVAr 380V delta	1	R\$ 1.245,92	R\$ 1.245,92
17,5kVAr 380V delta	1	R\$ 602,09	R\$ 602,09
12,5kVAr 380V delta	1	R\$ 341,02	R\$ 341,02
Total de Investimento			R\$ 4.969,03

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para a análise de custos apresentados na Tabela 13, utilizou-se diversos fornecedores de bancos capacitivos WEG. No Anexo A é possível verificar os anúncios encontrados para a precificação indicada na Tabela 13.

5.1.4 Correção do Fator de Potência nos terminais dos MITs

Essa correção de FP pode ser considerada como a mais efetiva, isso pois cada motor da indústria apresentará um banco de capacitores instalados para realizar a correção no terminal da máquina. Na Tabela 11 são apresentadas as potências capacitivas necessárias calculadas empregando a equação 14 e as potências reativas capacitivas instaladas no sistema industrial para realizar a correção do FP para 0,95 indutivo.

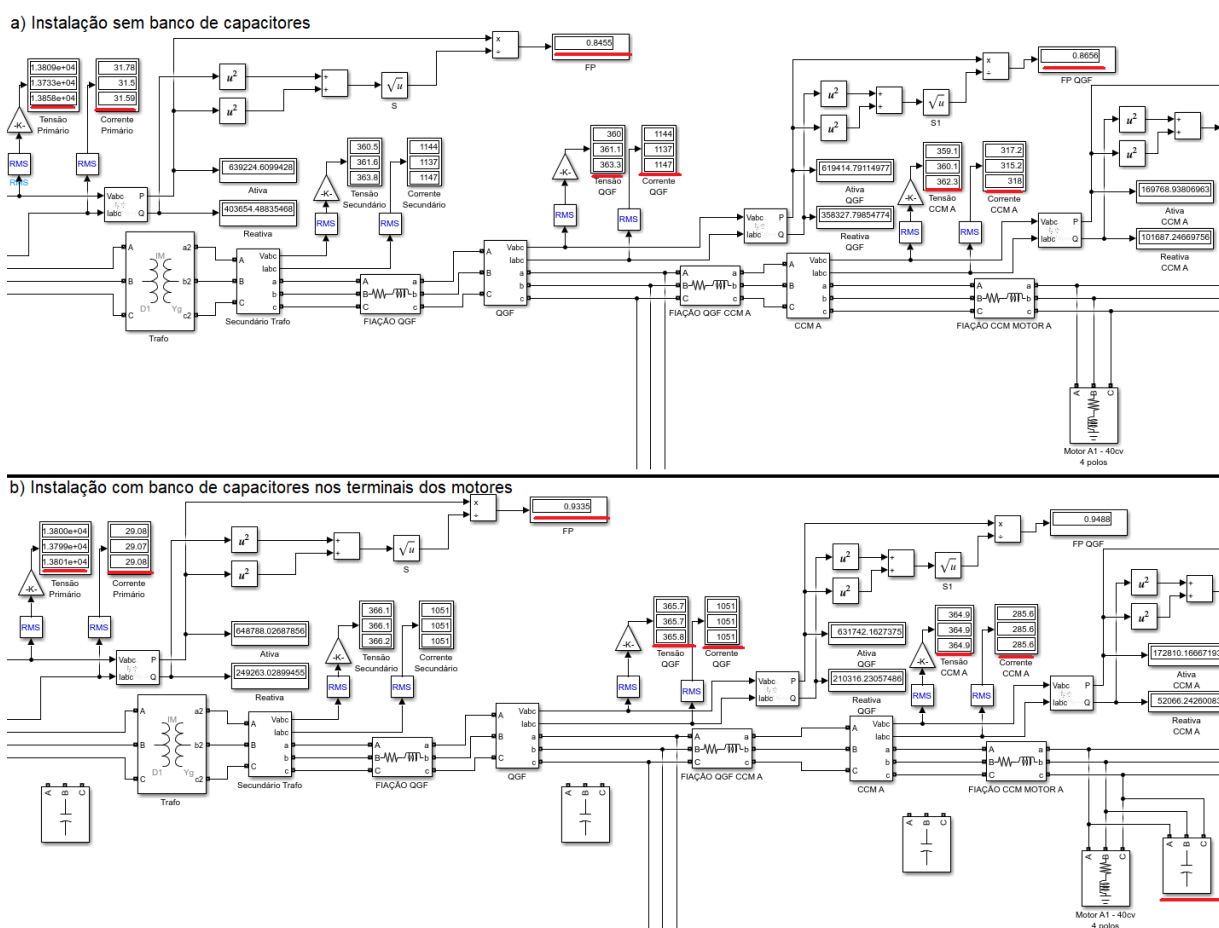
Tabela 14: Correção de FP nos terminais dos Motores

Motor	FP Medido	Qc Mínima (kVAr)	Qc Instalada (kVAr)
Motores A	0,85	7,915	10
Motores B	0,83	4,864	5
Motores C	0,87	22,932	25
Motores D	0,88	3,766	5
Motores E	0,88	0,722	0,75

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na Figura 13 são apresentadas as principais medidas na Média Tensão (primário do transformador) e no QGF.

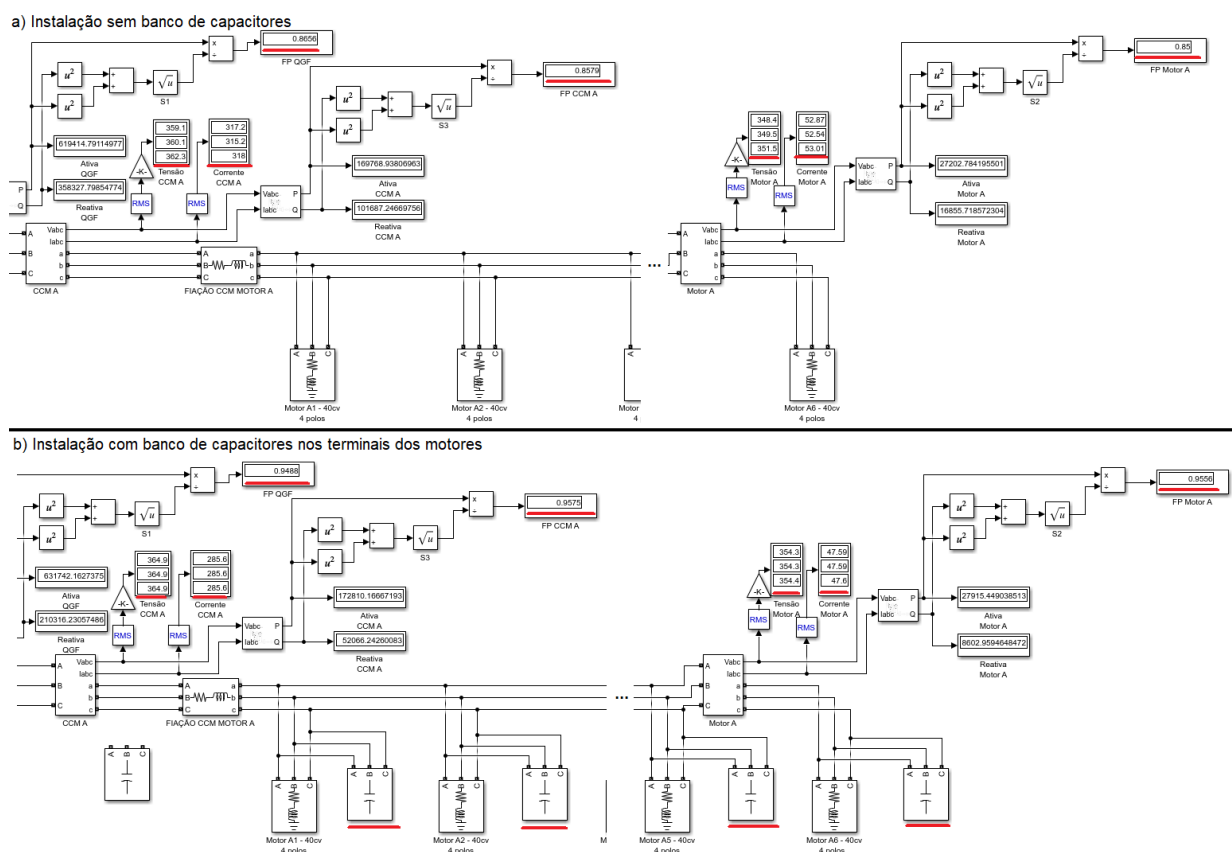
Figura 13: Comparativo de Medidas com Correção de FP em Motores (MT e QGF)



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na Figura 14 são apresentadas as principais medidas do CCM A e dos motores A antes e após a correção do FP.

Figura 14: Comparativo de Parâmetros com Correção de FP em Motores (CCM A e Motor A)



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Pode-se reparar que a presença de reativos na indústria se torna consideravelmente reduzida. Nota-se forte redução de corrente reativa em toda indústria, inclusive em média tensão. No caso do motor houve redução na corrente e leve aumento na tensão medida no terminal do motor, resultando na redução da potência aparente do conjunto motor-capacitor devido a redução da potência reativa causada pela instalação do banco de capacitores. As medidas dos outros CCMs podem ser verificadas no Apêndice.

Na Tabela 15 são apresentados os FPs antes e após a correção do FP para 0,95 indutivo.

Tabela 15: Comparação de FPs antes e após a Correção do FP em Motores

Barramento	FP Pré Correção	FP Pós Correção	% Elevação de FP
MT	0,8455	0,9335	10,41
QGF	0,8656	0,9488	9,61
CCM A	0,8579	0,9575	11,61
CCM B	0,8309	0,939	13,01
CCM C	0,8791	0,9456	7,56
CCM D	0,8805	0,9587	8,88
CCM E	0,8829	0,9403	6,50
Motor A	0,85	0,9556	12,42
Motor B	0,83	0,9392	13,16
Motor C	0,8701	0,9424	8,31
Motor D	0,8801	0,9587	8,93
Motor E	0,8801	0,9392	6,72

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Após analisar a Tabela 15, pode-se verificar que essa correção de FP apresentou bons valores finais, pois o FP em média tensão encontra-se em uma margem adequada. Na Tabela 16 são apresentados os novos valores para as quedas de tensão.

Tabela 16: Nova Queda de Tensão para Correção de FP nos Motores (V_{AB})

Ponto de Medição	Tensão Pré Correção (V)	Tensão Pós Correção (V)	% Queda Pré Correção	% Queda Pós Correção
QGF	360	365,7	5,26	3,76
CCM A	359,1	364,9	5,50	3,97
CCM B	356,1	362,4	6,29	4,63
CCM C	358,6	364,4	5,63	4,11
CCM D	354,7	360,8	6,66	5,05
CCM E	343,3	348,9	9,66	8,18
Motor A	348,4	354,3	8,32	6,76
Motor B	352,7	359,4	7,18	5,42
Motor C	342	348	10,00	8,42
Motor D	352,8	358,9	7,34	5,55
Motor E	337,9	343,5	11,08	9,61

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A partir da análise dos valores da Tabela 16 verifica-se que houve melhora no nível de tensão, no entanto é possível notar que ainda é apresentada considerável queda de tensão. Para melhorar ainda mais os níveis de tensão seria possível aumentar a capacitância instalada nos motores desta indústria. Na Tabela 17 são

apresentadas as correntes antes e após a correção do FP.

Tabela 17: Correntes antes e após a correção do FP nos Motores (I_{AN})

Ponto de Medição	Corrente Pré Correção (A)	Corrente Pós Correção (A)	Corrente Nominal (A)	% Redução
MT	31,78	29,08	-	8,50
QGF	1144	1051	-	8,13
CCM A	317,2	285,6	-	9,96
CCM B	223	199,7	-	10,45
CCM C	372,8	348,7	-	6,46
CCM D	132,4	123,1	-	7,02
CCM E	99,39	94,3	-	5,12
Motor A	52,87	47,59	57,39	9,99
Motor B	27,88	24,97	29,87	10,44
Motor C	186,4	174,3	206,2	6,49
Motor D	33,09	30,77	35,5	7,01
Motor E	6,626	6,287	7,42	5,12

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Pode-se notar a partir da Tabela 17 que a corrente foi consideravelmente reduzida, o que apresenta uma ótima consequência para a indústria, pois não sobrecarregará os condutores e barramentos.

No Quadro 2 são apresentados os modelos de bancos de capacitores para a correção do fator de potência nos terminais dos motores. Todos os bancos de capacitores são da WEG conforme o catálogo apresentado no Anexo B.

Quadro 2: Banco de capacitores para Motores

Motor	Referência WEG	Dados Capacitores
Motor A	UCWT10V40 N20 HD	10kVAr 380V delta
Motor B	UCWT5V40 N20 HD	5kVAr 380V delta
Motor C	UCWT25V40 S26 HD	25kVAr 380V delta
Motor D	UCWT5V40 N20 HD	5kVAr 380V delta
Motor E	UCWT0,75V40 L10 HD	0,75kVAr 380V delta

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A quantidade de cada banco capacitivo está relacionada a quantidade de motores. Assim, na Tabela 18 são apresentadas as quantidades de capacitores, os valores unitários e o custo total para implementação do sistema.

Tabela 18: Quantidade de bancos capacitivos para Motores

Modelo Banco Cap.	Quantidade	Valor Unitário	Estimado
10kVAr 380V delta	6	R\$ 303,00	R\$ 1.818,00
5kVAr 380V delta	8	R\$ 249,00	R\$ 1.992,00
25kVAr 380V delta	2	R\$ 904,72	R\$ 1.809,44
5kVAr 380V delta	4	R\$ 249,00	R\$ 996,00
0,75kVAr 380V delta	15	R\$ 169,00	R\$ 2.535,00
Total de Investimento			R\$ 9.150,44

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na Tabela 19 são apresentados todos os custos estimados para a implementação das correções nos diferentes locais da instalação apresentada nos resultados.

Tabela 19: Custo Estimado por ponto de Correção de FP

Barramento de Correção de FP	Investimento Total
Média Tensão / Primário do Transformador	R\$ 15.000,00
QGF	R\$ 4.473,00
CCMs	R\$ 4.969,03
Motores	R\$ 9.150,44

Fontes: Elaborado pelo Autor

5.2 Discussões sobre os Resultados Obtidos

Com base na análise de resultados nota-se, primeiramente que, a solução oferecida pelo capacitor instalado em Média Tensão não proporciona benefícios técnicos para o sistema da indústria e possui o investimento de mais alto custo. Neste caso a indústria não pagaria multa por excedentes de reativos pois o fator de potência está acima do limite estabelecido de 0,92.

Por outro lado, ao analisar a solução apresentada com correção de FP diretamente nos terminais dos motores nota-se que esta solução, além de não apresentar benefícios financeiros possui uma alta complexidade para instalações e monitoramento de todos os bancos capacitivos. Esta solução é considerada inviável do ponto de vista de custo de investimento de modo a evitar multas por reativos excedentes, uma vez que a instalação individual para motores, principalmente de baixa potência como os motores do CCM E não proporcionam nenhum benefício que

não possa ser suprido pela instalação de capacitores no CCM. Esta solução pode ser considerada para correção individual para motores de grande potência, como CCM A e CCM C. Além de compensar o reativo excedente diretamente na carga, pode proporcionar também uma melhor operação e eficiência para esses motores, evitando elevadas quedas de tensão nos CCMs.

A solução com banco de capacitores instalados no QGF é uma boa solução para centralizar os bancos capacitivos em apenas um ponto na indústria e possui um bom atrativo financeiro. No entanto ao checar a queda de tensão presente nesta indústria e a pequena elevação de tensão com o capacitor no QGF acredita-se que seja mais interessante introduzir elementos capacitivos mais próximos da carga, de forma a evitar também afundamentos de tensão momentâneos (e gerais) quando ocorrer partidas de motores.

Por fim, tem-se a correção de FP nos CCMs, ela é o equilíbrio entre a correção no QGF e nos terminais dos motores. Ela apresentou bons resultados gerais, pois proporcionou uma boa elevação da tensão na indústria e redução considerável de corrente a montante dos CCMs. Apesar disso a correção de FP nos CCMs proporcionou um aumento de tensão e corrente proporcionais que melhoram o desempenho dos motores.

Todas as soluções aqui apresentadas possuem pontos positivos e negativos para sua aplicação. Assim, acredita-se que a melhor solução seja a combinação entre a correção do fator de potência nos CCMs e a correção individual nos motores de maior potência. Para os CCM A e CCM C, considera-se adequada a instalação de capacitores diretamente nos motores, devido à elevada potência dos motores do CCM C e à combinação entre quantidade e potência dos motores do CCM A.

No Quadro 3 são apresentados os pontos de instalação dos capacitores para solução mista proposta.

Quadro 3: Solução Mista proposta para a Indústria Simulada

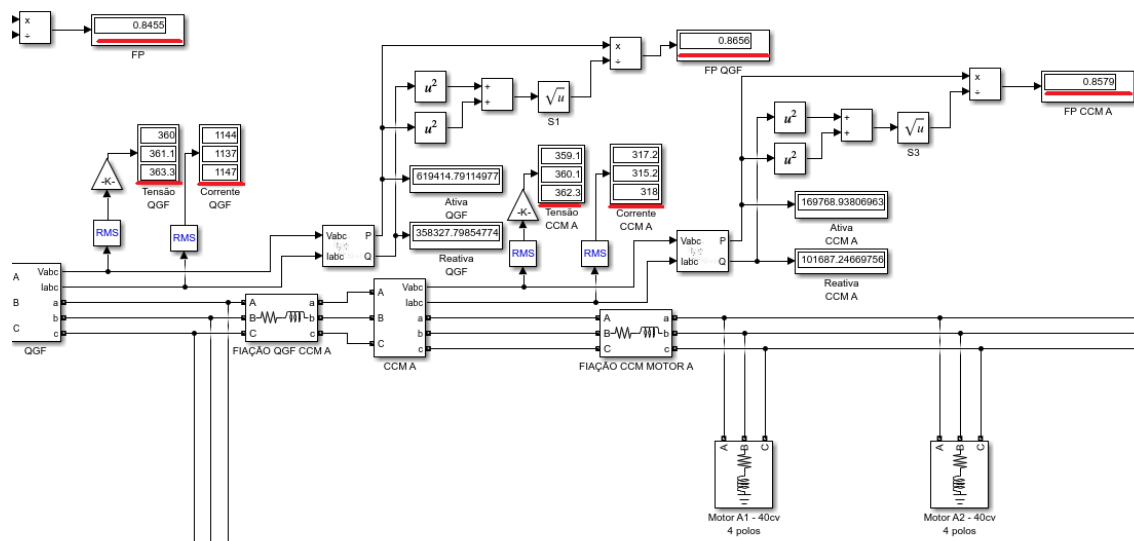
CCM	Tipo de Correção	Capacitância Instalada	Referência WEG	Cap. Total Instalada (kVAr)
CCM A	Nos terminais dos motores	10kVAr 380V delta	UCWT10V40 N20 HD	60
CCM B	No CCM	45kVAr 380V delta	UCWT45V40 U28 HD	45
CCM C	Nos terminais dos motores	25kVAr 380V delta	UCWT25V40 S26 HD	50
CCM D	No CCM	17,5kVAr 380V delta	UCWT17,5V40 Q26 HD	17,5
CCM E	No CCM	12,5kVAr 380V delta	UCWT12,5V40 N22 HD	12,5

Fonte: Elaborado pelo Autor.

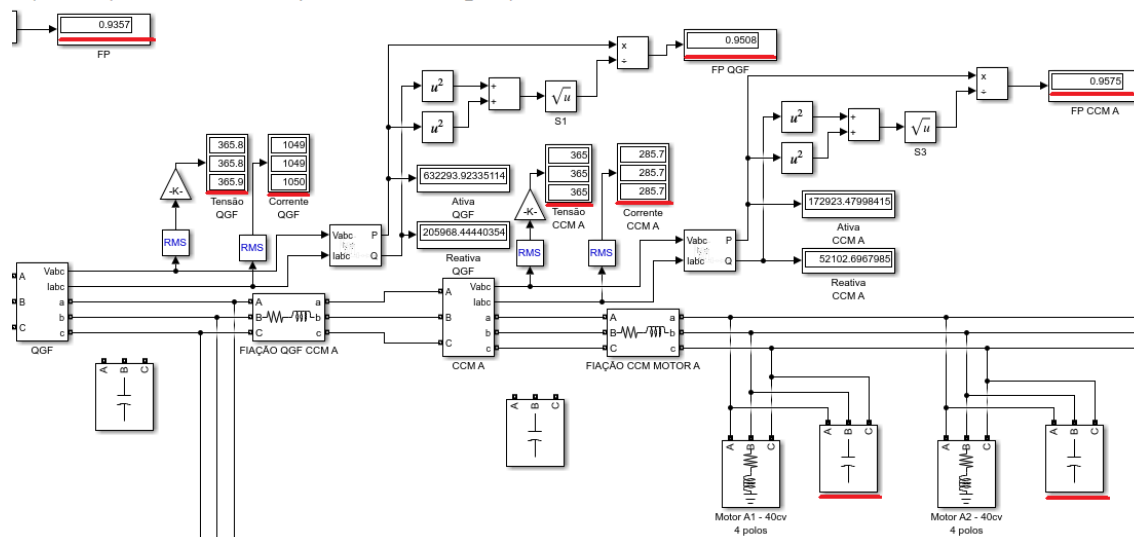
Para esta solução final, criou-se a simulação chamada de Mista. Na Figura 15 são apresentas as medições para o QGF e o CCM A.

Figura 15: Comparativo de Medidas com Correção de FP Mista (QGF e CCM A)

a) Instalação sem banco de capacitores



b) Instalação com banco de capacitores em configuração mista



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Assim como nos casos anteriores, o comparativo de medidas para o Motor A está apresentado no Apêndice. Nas Tabelas 20, 21 e 22 são apresentadas as melhorias no FP, nas tensões e nas correntes.

Tabela 20: Comparação de FP após Correção Mista

Barramento	FP Pré Correção	FP Pós Correção	% Elevação de FP
MT	0,8455	0,9357	10,67
QGF	0,8656	0,9508	9,84
CCM A	0,8579	0,9575	11,61
CCM B	0,8309	0,9518	14,55
CCM C	0,8791	0,9456	7,56
CCM D	0,8805	0,9511	8,02
CCM E	0,8829	0,9479	7,36
Motor A	0,85	0,9556	12,42
Motor B	0,83	0,83	0,00
Motor C	0,8701	0,9424	8,31
Motor D	0,8801	0,88	-0,01
Motor E	0,8801	0,88	-0,01

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 21: Nova Queda de Tensão com Correção de FP Mista (V_{AB})

Ponto de Medição	Tensão Pré Correção (V)	Tensão Pós Correção (V)	% Queda Pré Correção	% Queda Pós Correção
QGF	360	365,8	5,26	3,74
CCM A	359,1	365	5,50	3,95
CCM B	356,1	362,7	6,29	4,55
CCM C	358,6	364,5	5,63	4,08
CCM D	354,7	360,8	6,66	5,05
CCM E	343,3	349	9,66	8,16
Motor A	348,4	354,4	8,32	6,74
Motor B	352,7	359,2	7,18	5,47
Motor C	342	348,1	10,00	8,39
Motor D	352,8	358,9	7,16	5,55
Motor E	337,9	343,5	11,08	9,61

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 22: Correntes na instalação elétrica após a Correção do FP Mista (I_{AN})

Ponto de Medição	Corrente Pré Correção (A)	Corrente Pós Correção (A)	Corrente Nominal (A)	% Redução
MT	31,78	29,03	-	8,65
QGF	1144	1049	-	8,30
CCM A	317,2	285,7	-	9,93
CCM B	223	197,2	-	11,57
CCM C	372,8	348,8	-	6,44
CCM D	132,4	124,1	-	6,27
CCM E	99,39	93,73	-	5,69
Motor A	52,87	47,61	57,39	9,95
Motor B	27,88	28,24	29,87	-1,29
Motor C	186,4	174,4	206,2	6,44
Motor D	33,09	33,52	35,5	-1,30
Motor E	6,626	6,71	7,42	-1,27

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os valores apresentados nas Tabelas 20, 21 e 22 apresentaram FP em MT e QGF levemente acima da solução com bancos capacitivos nos terminais dos MITS. A tensão apresentou comportamento similar se comparado com a solução anterior, assim como a corrente se comparada entre os pontos em que os capacitores foram instalados.

O custo total para a aquisição dos bancos capacitivos está presente na Tabela 23.

Tabela 23: Custo para Solução Mista

Modelo Banco Cap.	Quantidade	Valor Unitário	Estimado
10kVAr 380V delta	6	R\$ 303,00	R\$ 1.818,00
45kVAr 380V delta	1	R\$ 1.245,92	R\$ 1.245,92
25kVAr 380V delta	2	R\$ 904,72	R\$ 1.809,44
17,5kVAr 380V delta	1	R\$ 602,09	R\$ 602,09
12,5kVAr 380V delta	1	R\$ 341,02	R\$ 341,02
Total de Investimento			R\$ 5.816,47

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Ao comparar financeiramente a solução mista proposta com a solução dos MITs ela apresenta perfis de tensão e correntes similares. No entanto um grande atrativo financeiro, pois apresentou valor consideravelmente menor ao de bancos capacitivos nos terminais dos MITs.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho analisou os impactos da instalação de bancos de capacitores em diferentes pontos de uma instalação elétrica industrial. As simulações realizadas no MatLab Simulink confirmaram que a compensação reativa ocorre principalmente nos elementos localizados a montante do ponto de conexão do banco.

A correção no primário do transformador melhorou o fator de potência no ponto de entrada, mas não reduziu a circulação de reativos na instalação industrial. A instalação no QGF beneficiou o transformador e a alimentação principal, porém manteve uma grande queda de tensão e presença de correntes reativas nos alimentadores dos CCMs e dos motores. A compensação nos CCMs apresentou resultados mais abrangentes, reduzindo as correntes nos alimentadores principais e melhorando o perfil de tensão dos respectivos setores.

Entre as alternativas analisadas, a instalação dos bancos de capacitores diretamente nos terminais dos motores apresentou o melhor desempenho elétrico. Nessa configuração, a potência reativa foi fornecida no próprio ponto de consumo, reduzindo sua circulação por praticamente toda a instalação. Isso também proporcionou uma redução nos valores de corrente e elevação de tensão ao reduzir perdas por efeito Joule. No entanto, esta solução não é viável, devido ao custo de investimento e a alta complexidade de manutenção e operação de bancos capacitivos instalados individualmente nos motores. Assim, a solução Mista (correção individual em MITs A e C e geral em CCMs B, D e E) apresentou-se um comportamento similar ao de bancos capacitivos nos terminais dos MITs, mas com atrativo financeiro.

Como mencionado anteriormente, este trabalho foi realizado pensando em motores funcionando em regime permanente. Assim, para trabalhos futuros recomenda-se analisar:

- Influência capacitiva em regimes transitórios e de magnetização de motores;
- Implementação de bancos capacitivos automatizados de acordo com demanda horária industrial e possíveis impactos;
- Efeito de bancos capacitivos na magnetização de motores a indução;
- Análise comparativa entre bancos capacitivos e Motores Síncronos para correção de Fator de Potência;

- Análise de bancos capacitivos e impactos para correção de Fator de Potência com Motores a Indução com cargas diferentes da nominal.

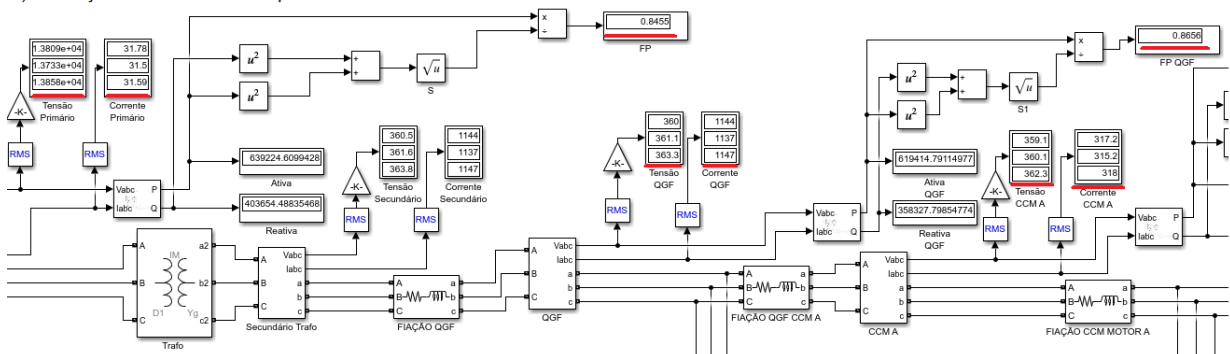
REFERÊNCIAS

- J. Mamede Filho, Instalações Elétricas Industriais: de acordo com a norma brasileira NBR 5419:2015, 9ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- WEG, “Correção do Fator de Potência”. Disponível em <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hda/ha0/WEG-capacitores-paracorrecao-do-fator-de-potencia-50009818-pt.pdf>, p. 40, 2009.
- ANEEL, Resolução Normativa ANEEL No 1000,. 2021, p. 1–170.
- L. F. A. Souza, “Aplicações Específicas de Bancos de Capacitores em Instalações Elétricas Industriais”, Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2023. [Online]. Available at: <http://hdl.handle.net/11449/244121>.
- K. C. D. Lima, M. Antônio L. M. Jr, V. P. B. Aguiar, R. L. Galvão, A. A. F. De Moura, e R. S. T. Pontes, “Avaliação Técnico-Econômica da Troca de Motores Industriais pela Análise do Carregamento e Cálculo da Economia Líquida em uma Indústria Salineira”, in VIII Congresso Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE), 2020, p. 6. Doi: 10.48011/sbse.v1i1.2227.
- WEG. Motores Elétricos – Linhas de Produtos – Características – Especificações – Instalações – Manutenções. 2005. Disponível em: <https://www.coe.ufrj.br/~richard/Acionamentos/Catalogo%20de%20Motores.pdf>. Acesso em: 04.Mai.2023.
- B. M. Misu, “Estudo da Ferorressonancia em Motores de Indução Trifásicos devido a Conexão de Bancos de Capacitores”, Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2025. [Online]. Available at: <https://hdl.handle.net/11449/311628>.
- OPENAI. ChatGPT (Versão GPT-4). São Francisco: OpenAI, 2024. Resposta gerada por inteligência artificial. Disponível em: <https://chat.openai.com/>. Acesso em: 15 jun. 2026.
- COMPENSACIÓN REACTIVA INGENIERÍA Y MANUFACTURA S.A. DE C.V. (CRIMSA). Bancos de capacitores de potencia para media y alta tensión. [S. L.]: CRIMSA, [2016]. Disponível em: <https://www.simmexico.com.mx/Cat%C3%A1logo-Bancos-de-Capacitores-2016-CRIMSA-1-min-1-min.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2026.

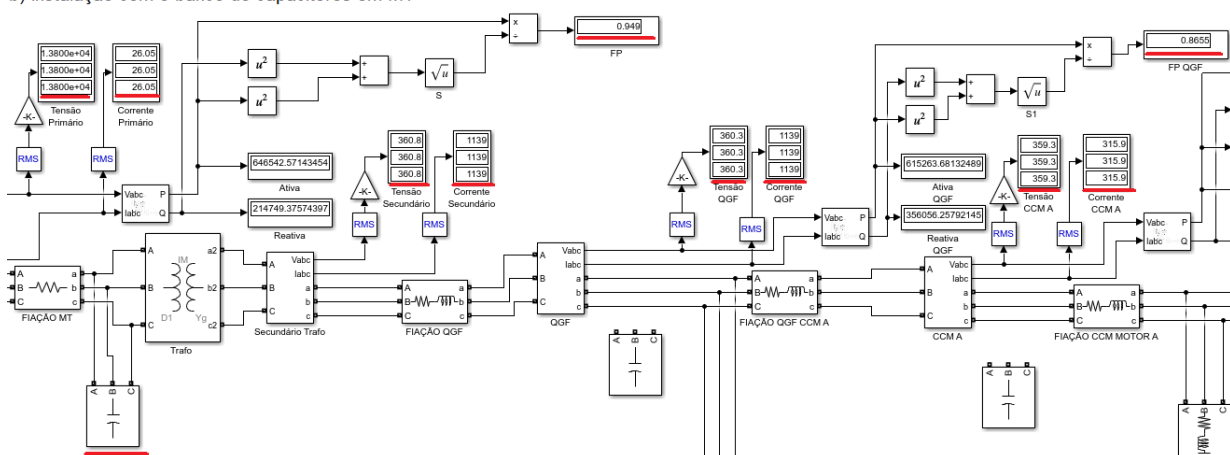
APÊNDICE: SIMULAÇÕES MATLAB SIMULINK

Figura 16: Comparativo de Medidas com correção de FP em Média Tensão

a) instalação sem o banco de capacitores



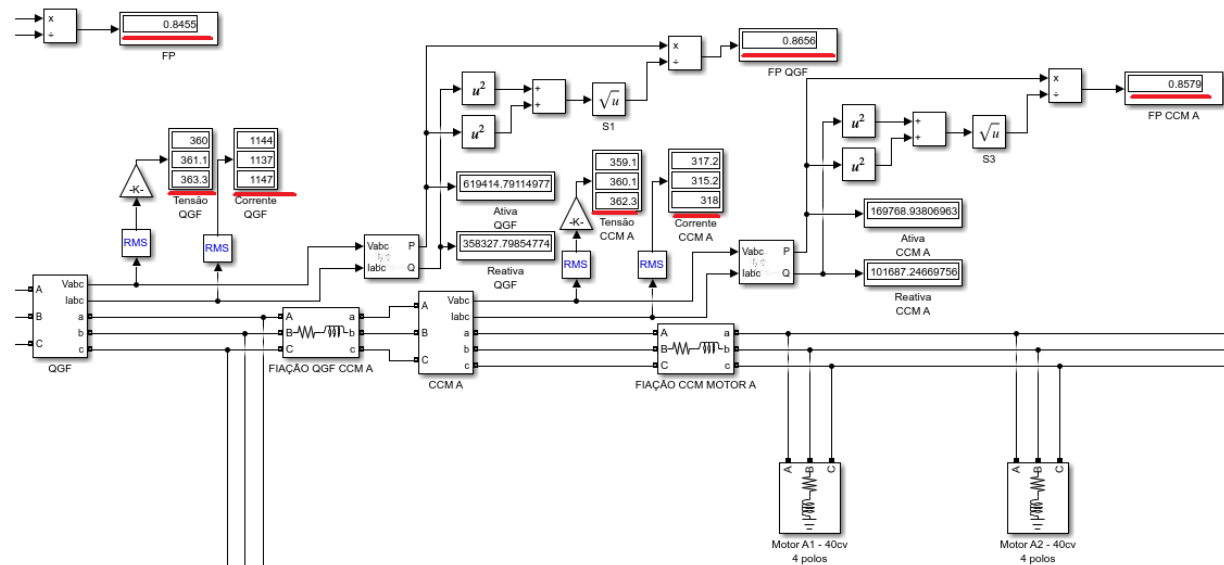
b) instalação com o banco de capacitores em MT



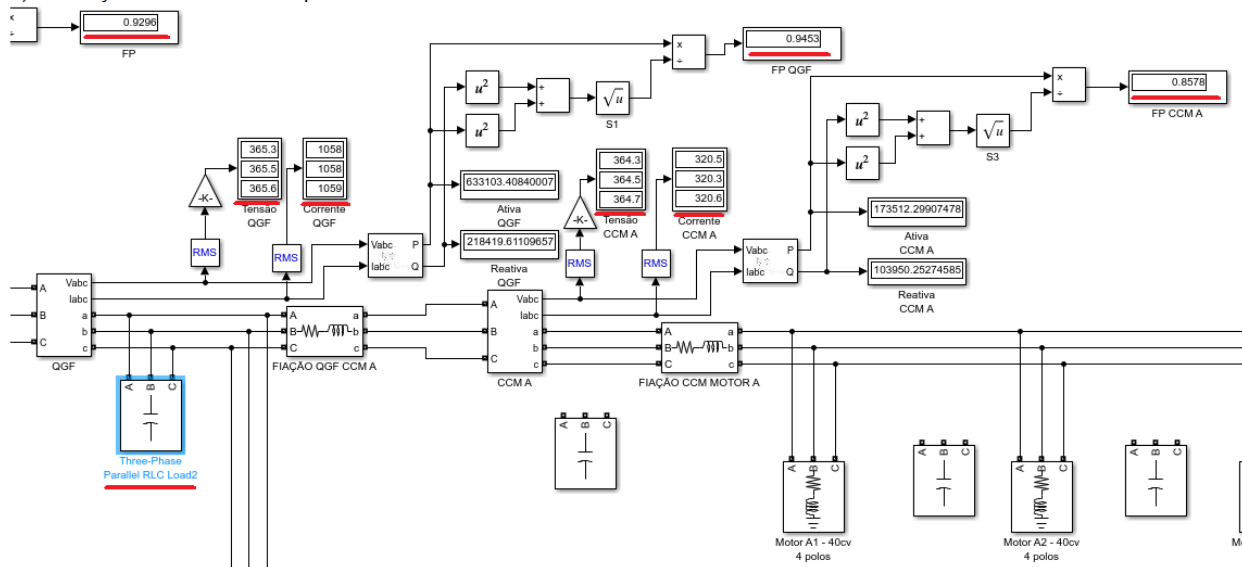
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 17: Comparativo de Medidas com Correção de FP no QGF

a) Instalação sem banco de capacitores



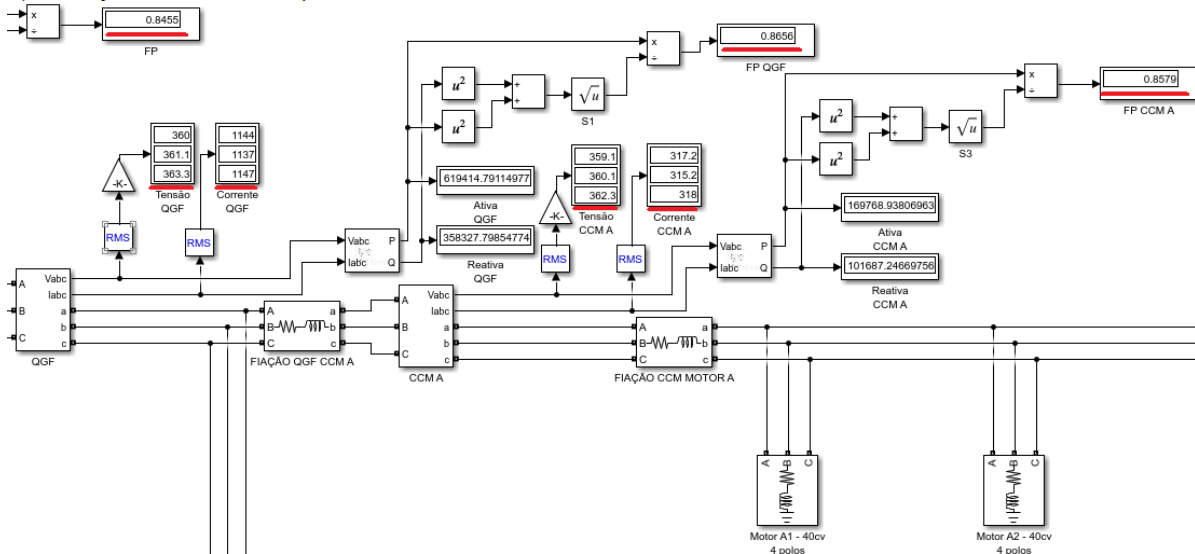
b) Instalação com banco de capacitores no QGF



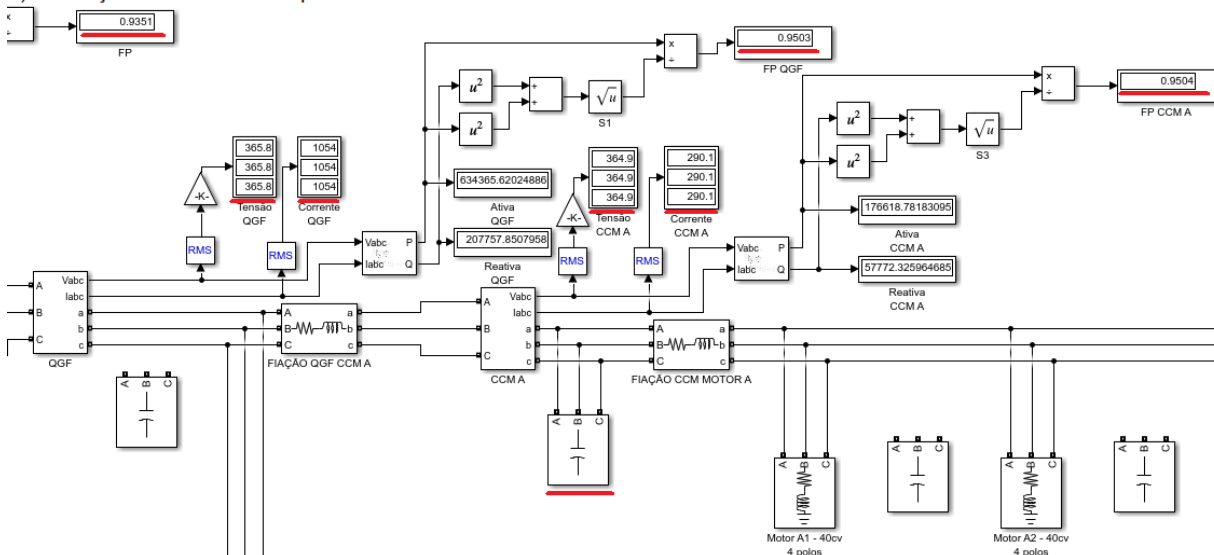
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 18: Comparativo de Medidas com Correção de FP em CCMs (CCM A)

a) Instalação sem banco de capacitores



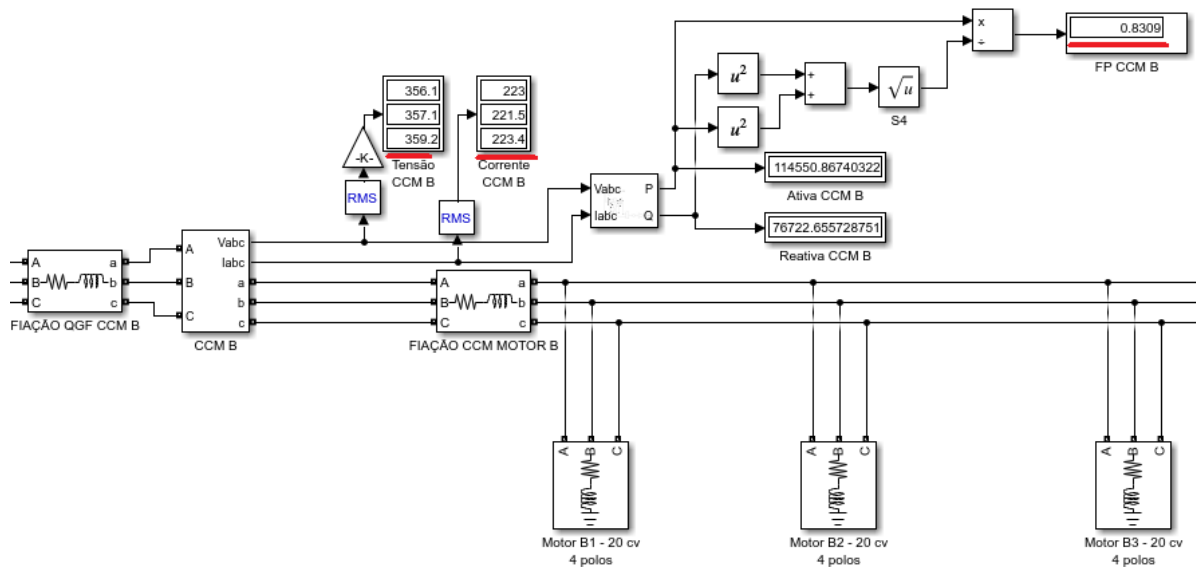
b) Instalação com banco de capacitores nos CCMs



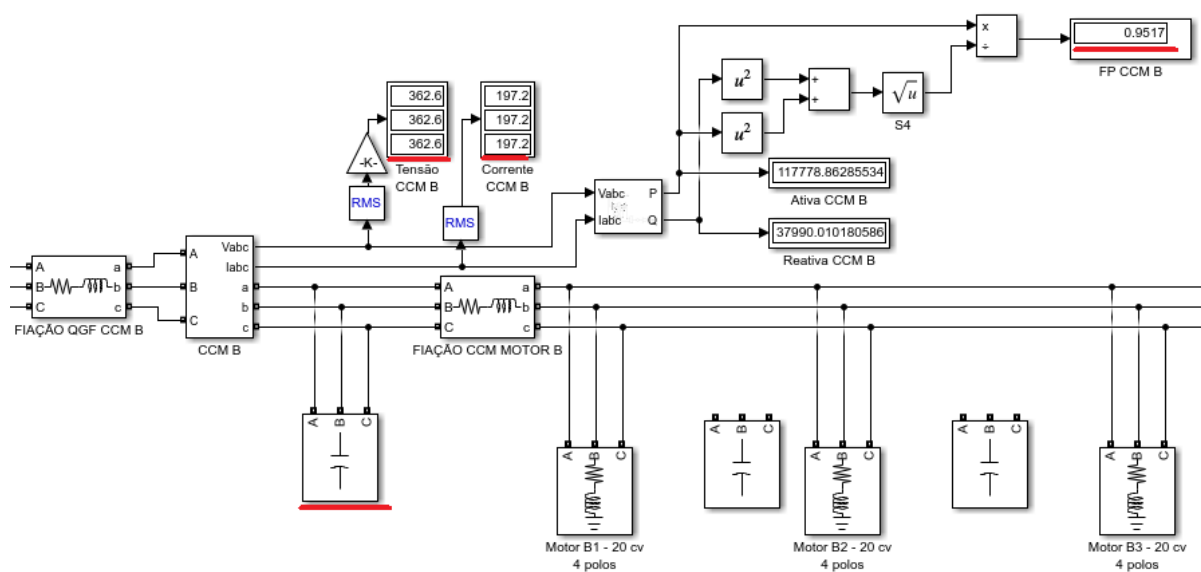
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 19: Comparativo de Medidas com Correção de FP em CCMs (CCM B)

a) Instalação sem banco de capacitores



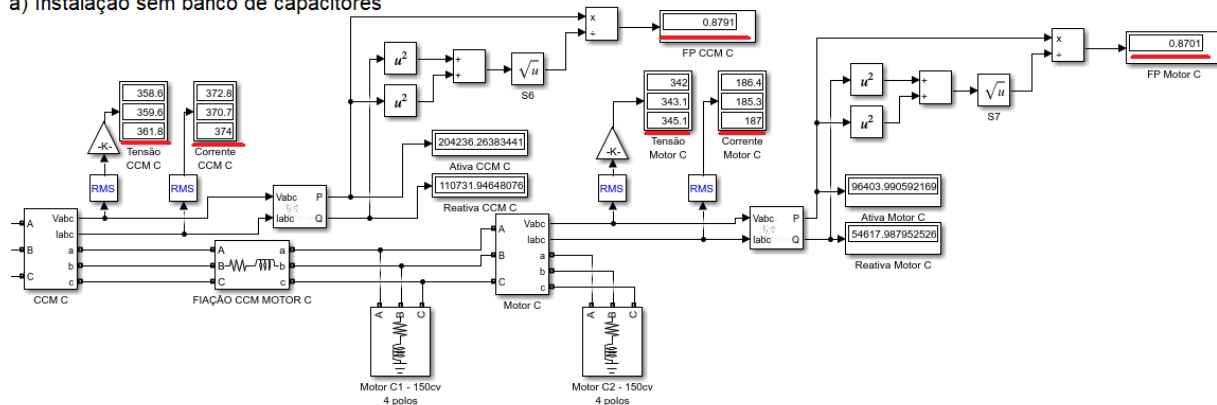
b) Instalação com banco de capacitores nos CCMs



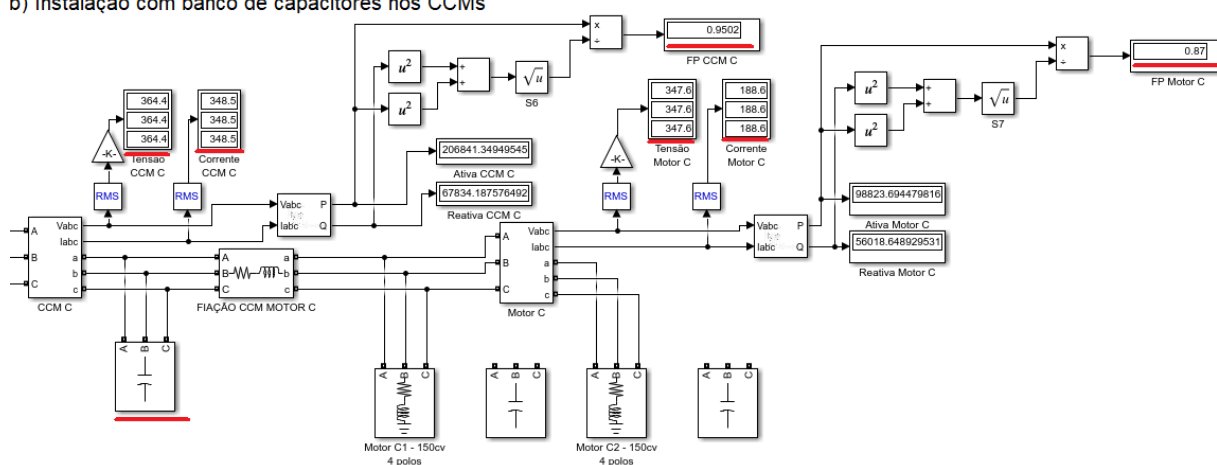
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 20: Comparativo de Medidas com Correção de FP em CCMs (CCM C)

a) Instalação sem banco de capacitores



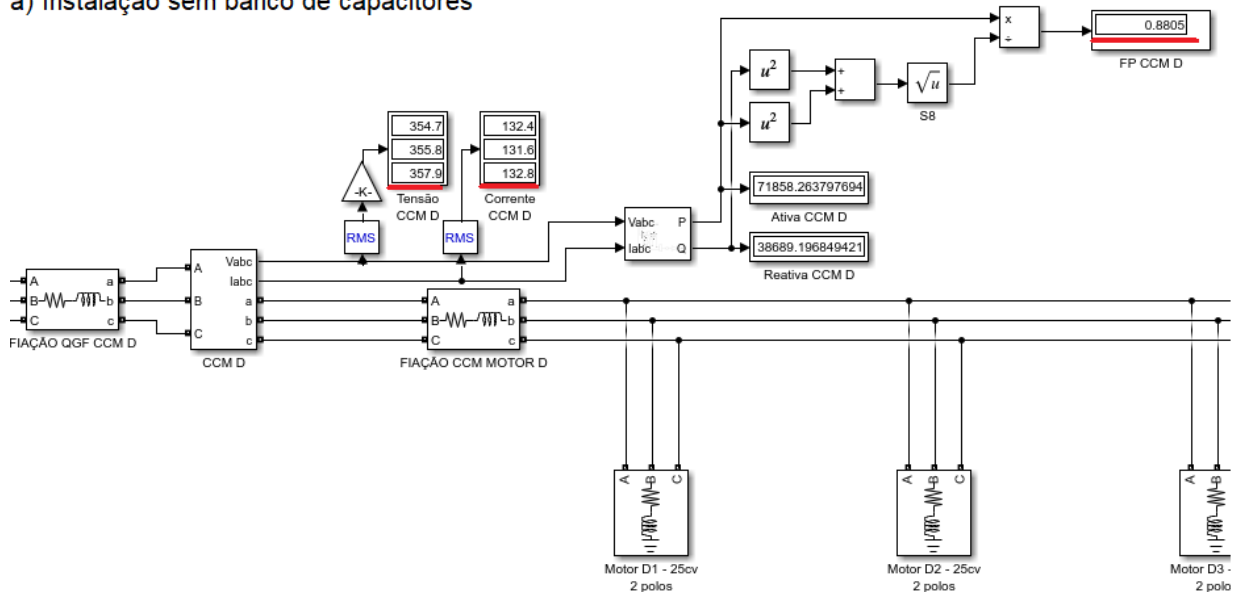
b) Instalação com banco de capacitores nos CCMs



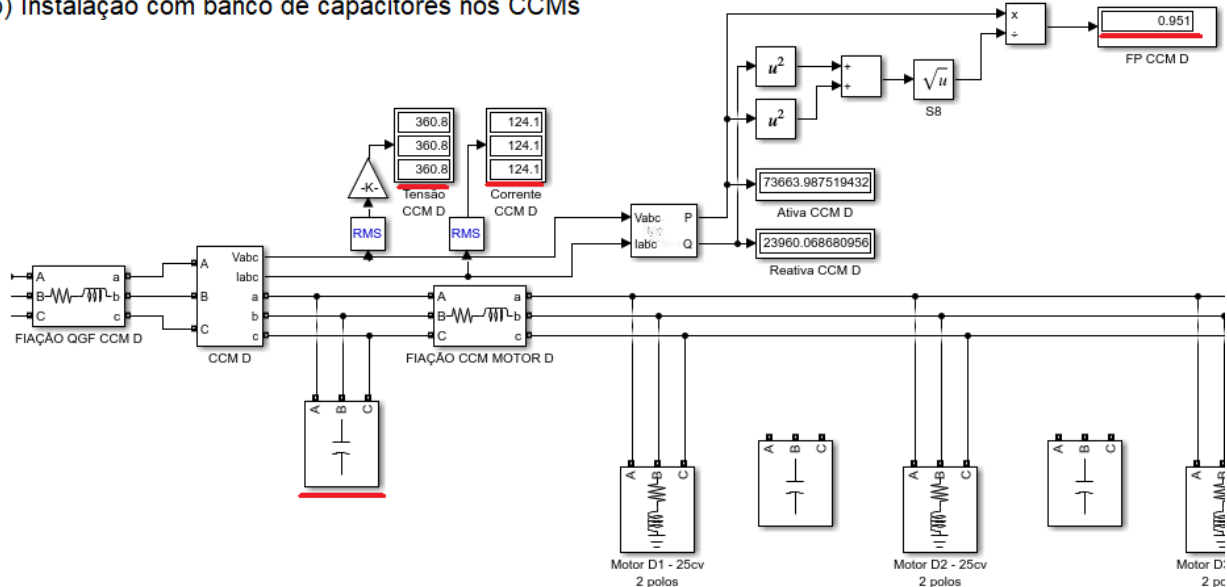
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 21: Comparativo de Medidas com Correção de FP em CCMs (CCM D)

a) Instalação sem banco de capacitores



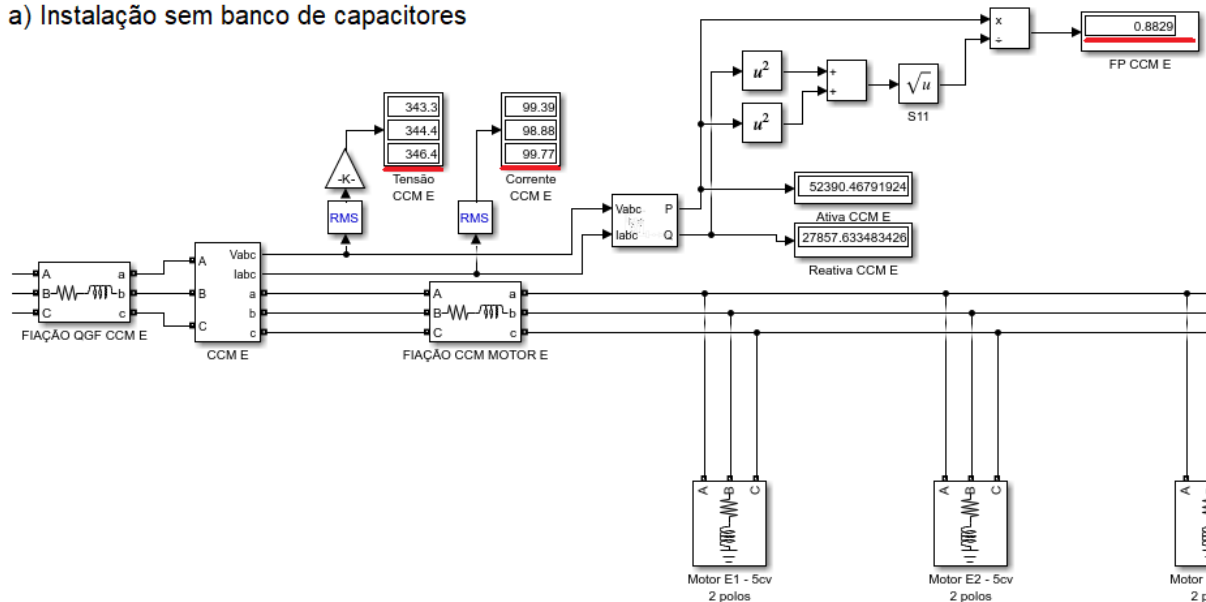
b) Instalação com banco de capacitores nos CCMs



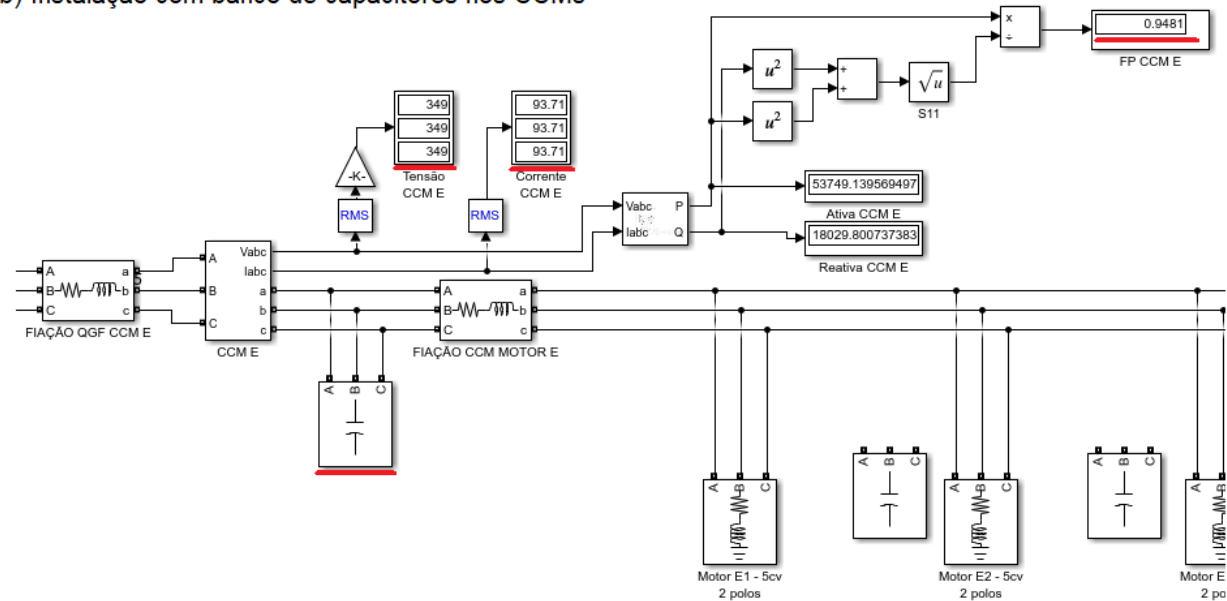
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 22: Comparativo de Medidas com Correção de FP em CCMs (CCM E)

a) Instalação sem banco de capacitores



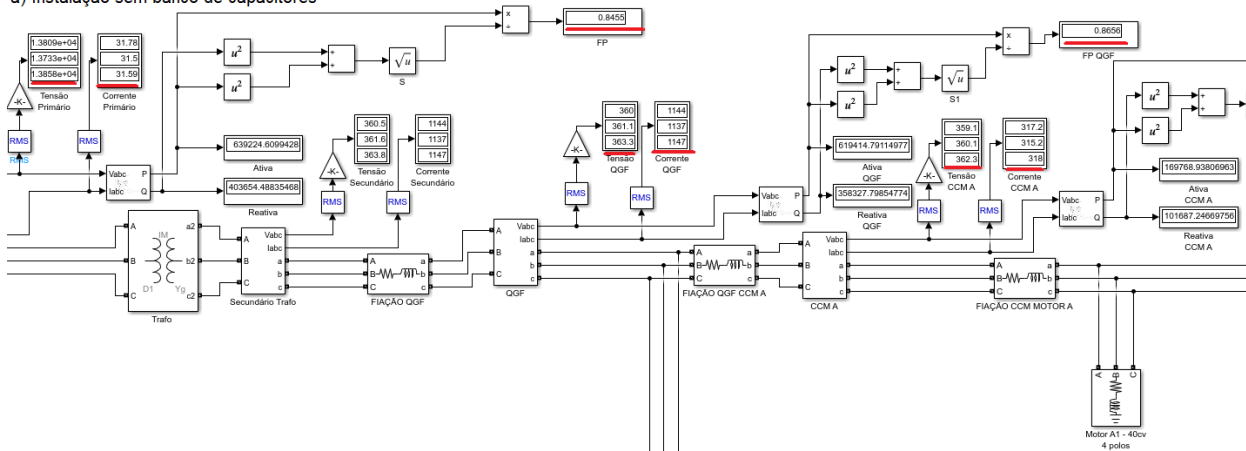
b) Instalação com banco de capacitores nos CCMs



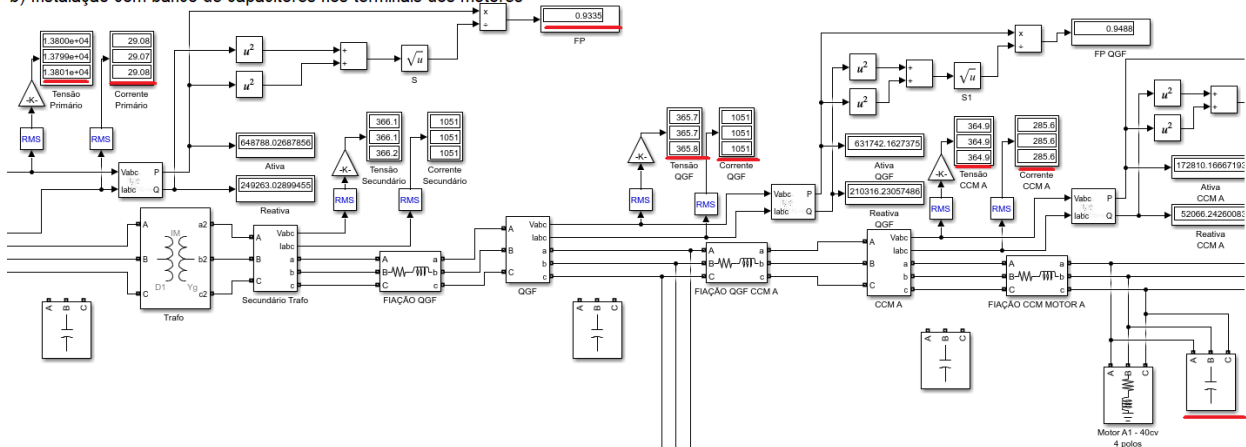
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 23: Comparativo de Medidas com Correção de FP em Motores (MT e QGF)

a) Instalação sem banco de capacitores



b) Instalação com banco de capacitores nos terminais dos motores



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 24: Comparativo de Medidas com Correção de FP em Motores (CCM A e Motor A)

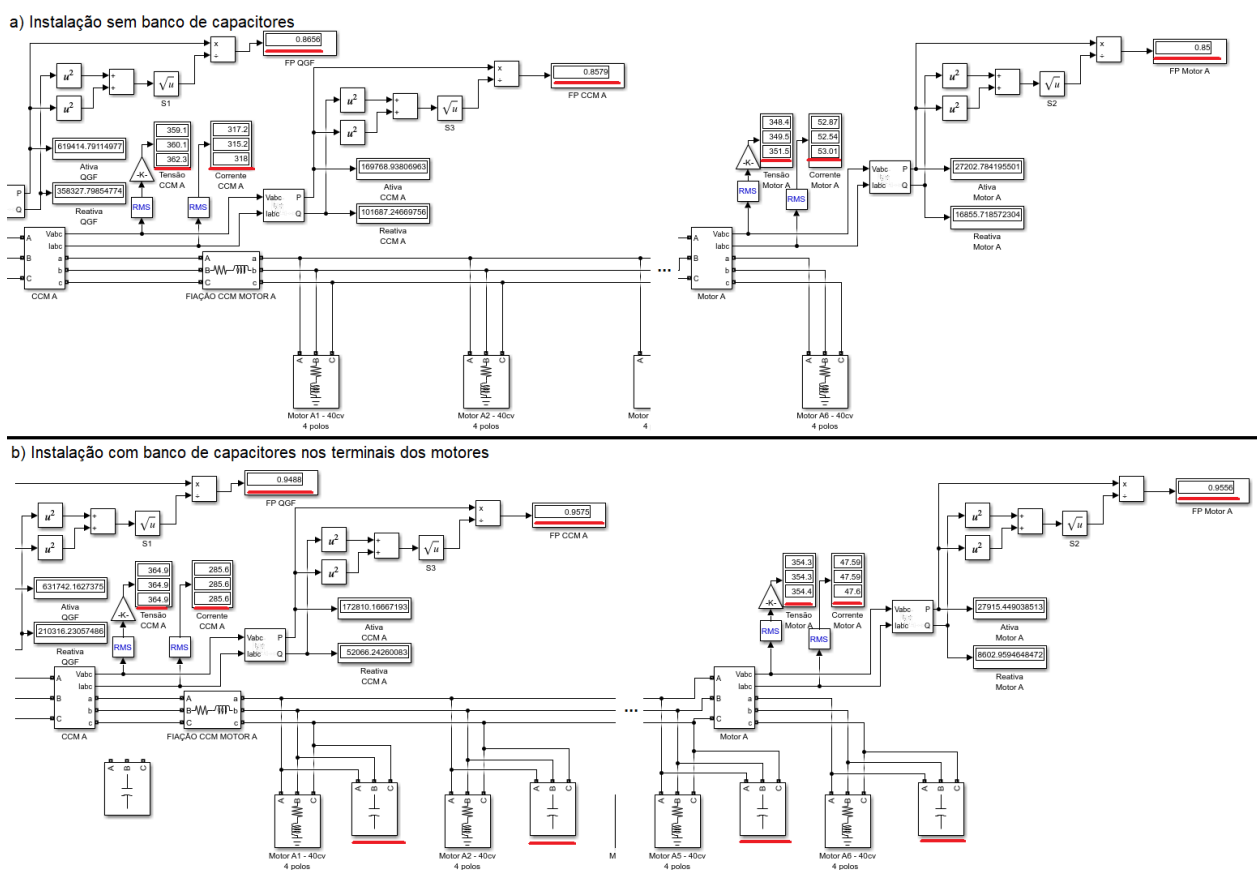
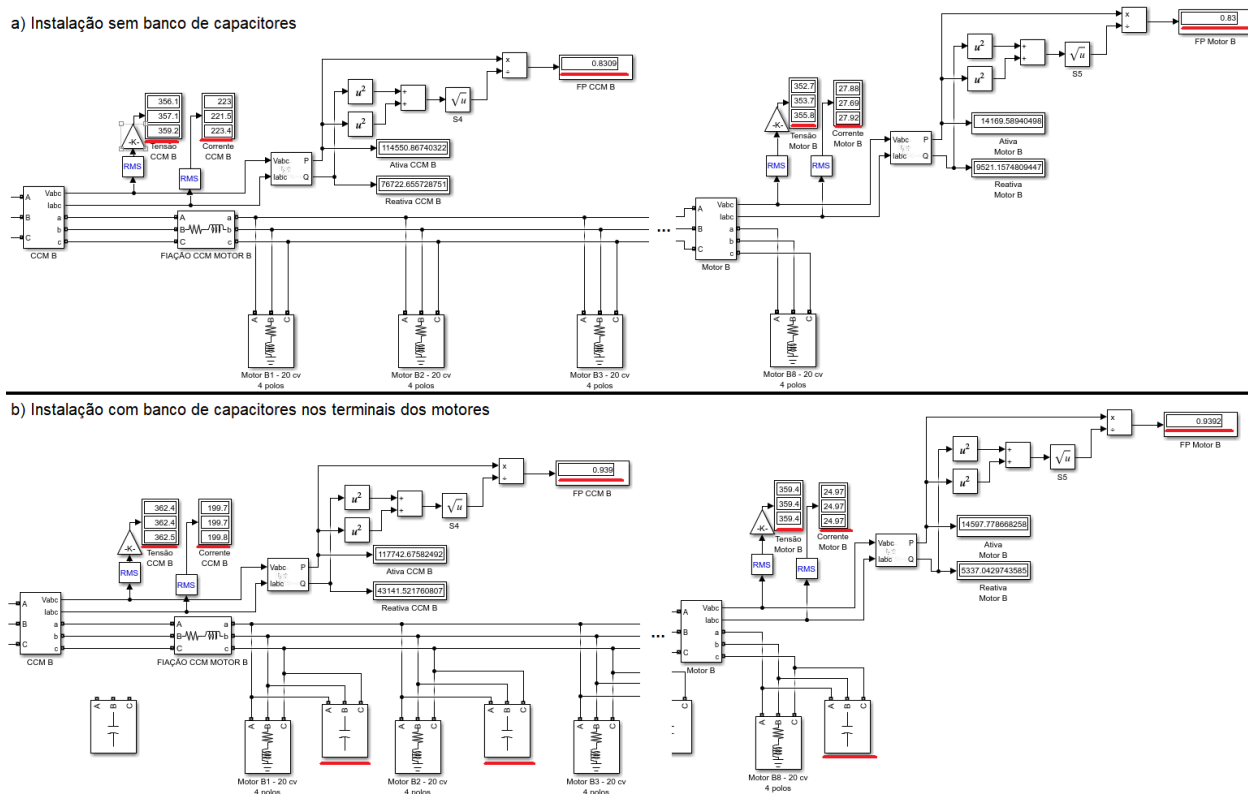


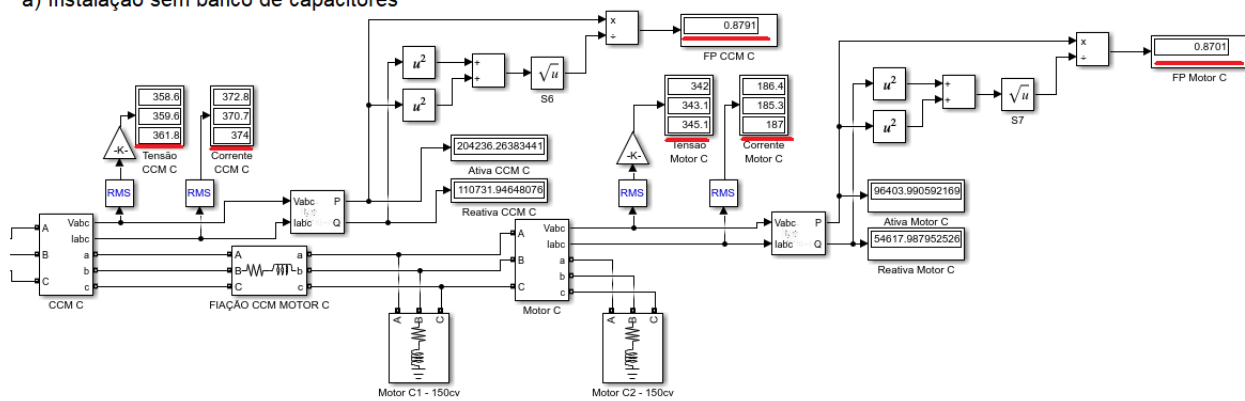
Figura 25: Comparativo de Medidas com Correção de FP em Motores (CCM B e Motor B)



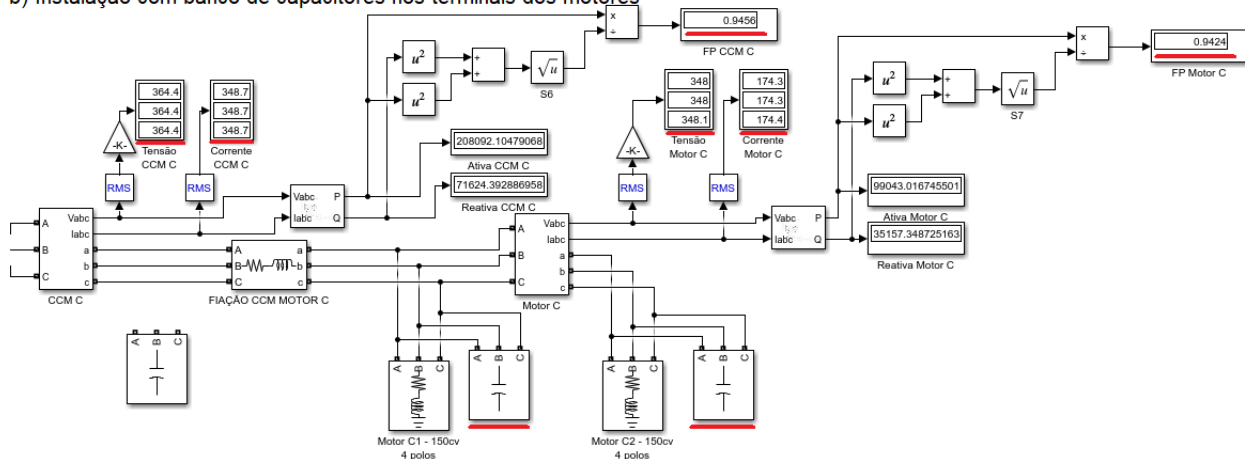
Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 26: Comparativo de Medidas com Correção de FP em Motores (CCM C e Motor C)

a) Instalação sem banco de capacitores

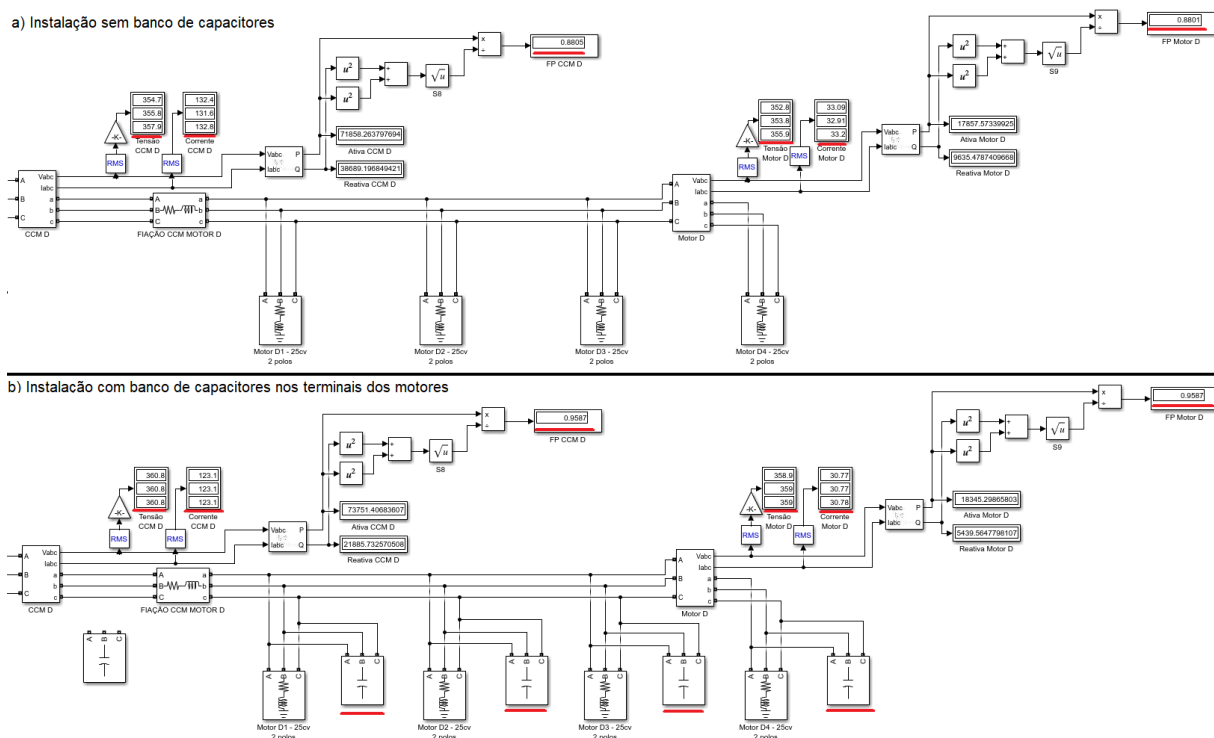


b) Instalação com banco de capacitores nos terminais dos motores



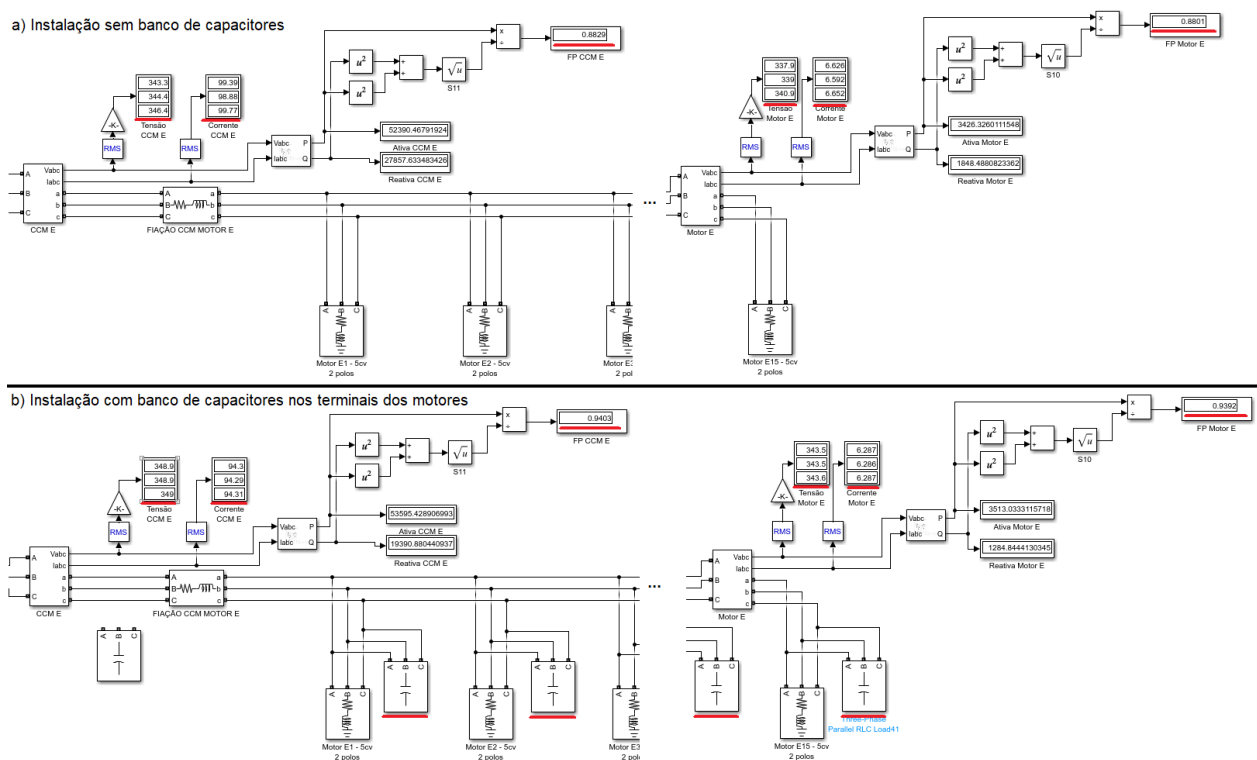
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 27: Comparativo de Medidas com Correção de FP em Motores (CCM D e Motor D)



Fonte: Elaborado pelo Autor.

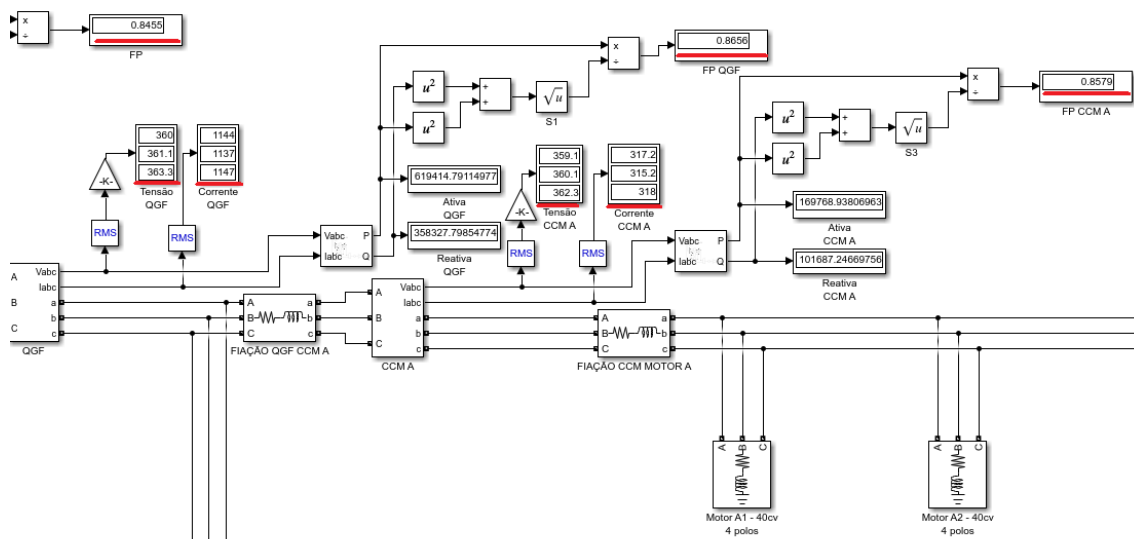
Figura 28: Comparativo de Medidas com Correção de FP em Motores (CCM E e Motor E)



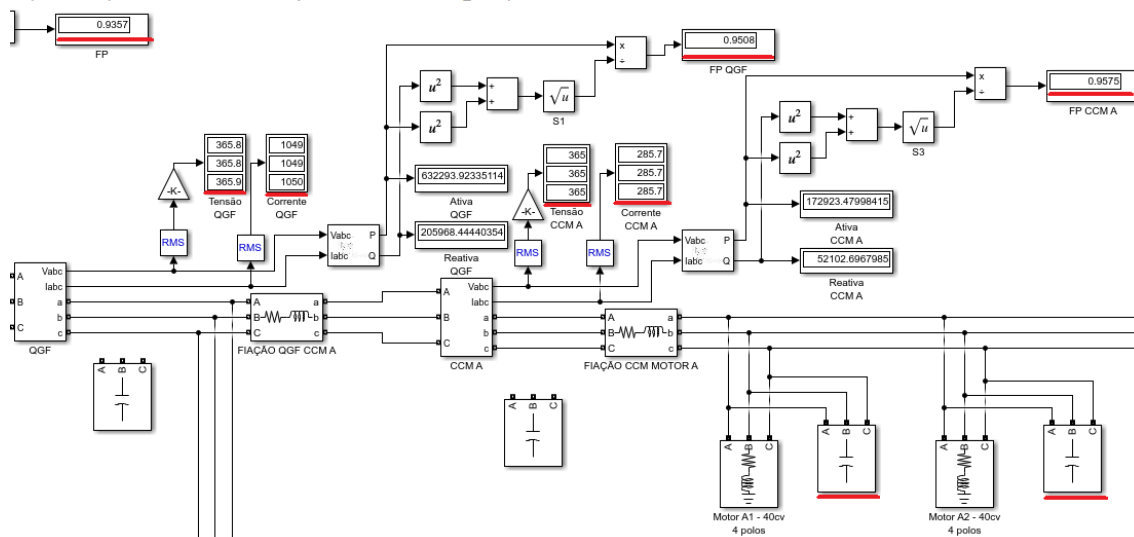
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 29: Comparativo de Medidas com Correção de FP Mista (QGF e CCM A)

a) Instalação sem banco de capacitores



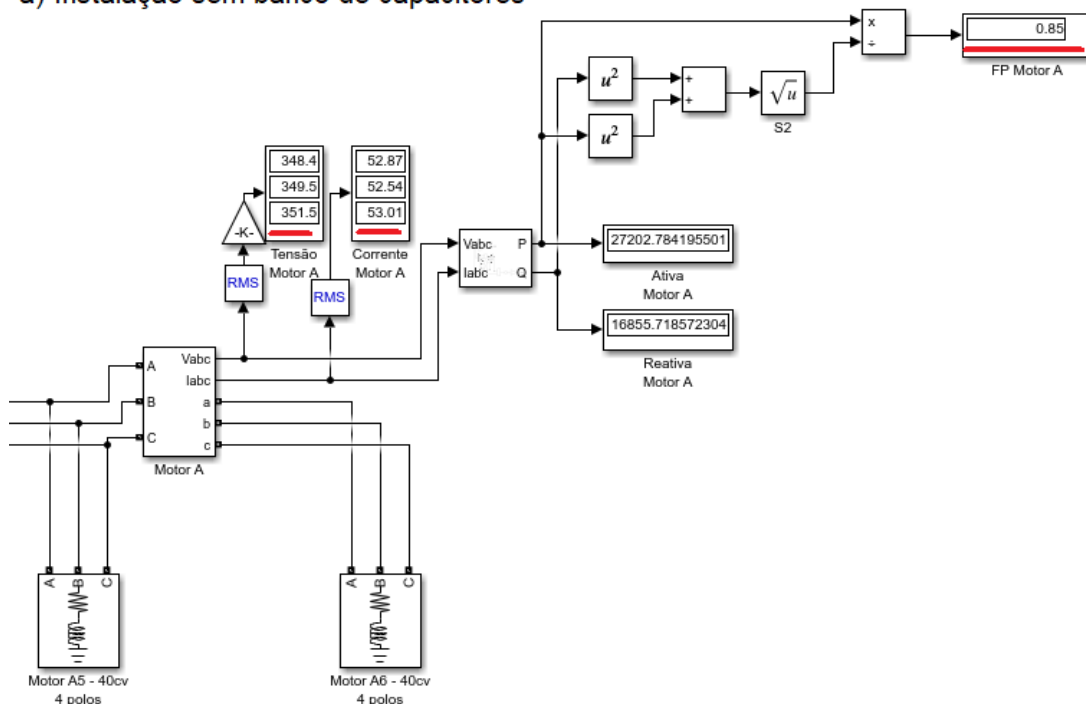
b) Instalação com banco de capacitores em configuração mista



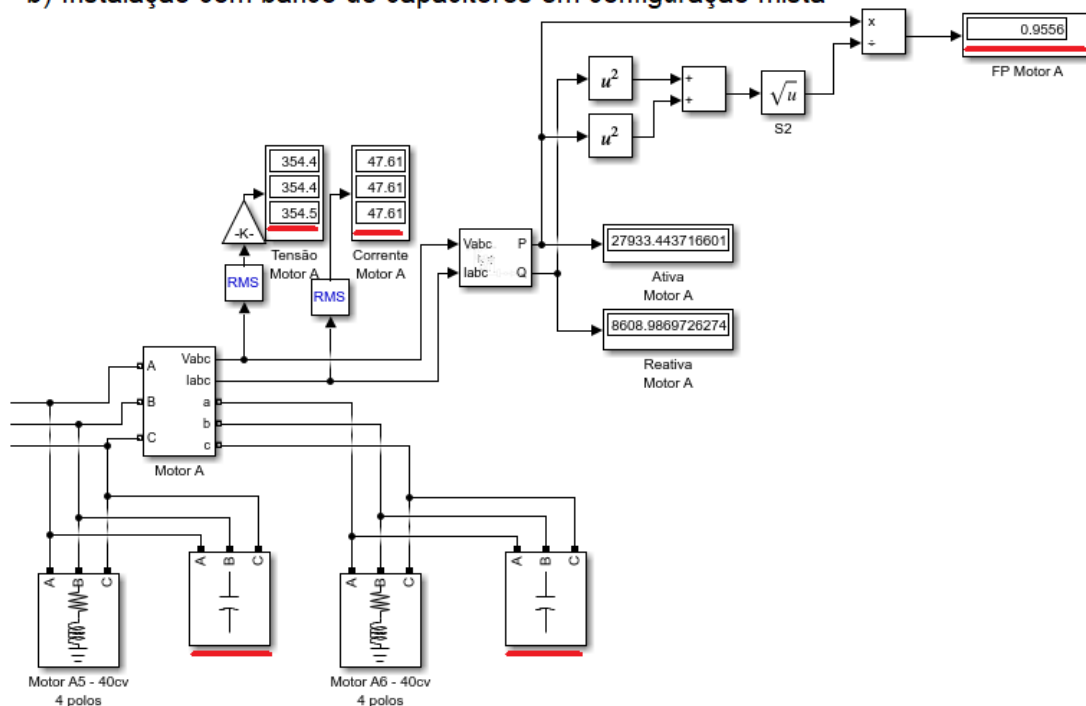
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 30: Comparativo de Medidas com Correção de FP Mista (Motor A)

a) Instalação sem banco de capacitores



b) Instalação com banco de capacitores em configuração mista



Fonte: Elaborado pelo Autor.

ANEXO A: BANCOS DE CAPACITORES UTILIZADOS

Figura 31: Anúncio Capacitor SIM Mexico 300kVAr 13,8kV

Banco de Capacitores Fijo tipo Poste 300 KVAR en 13.8 KV

/ Agotado

Descubre bancos de capacitores en SIM México para baja, media y alta tensión. Mejora el factor de potencia, reduce pérdidas y evita penalizaciones con soluciones personalizadas y de alta calidad.

f  

USD\$2,395.08



Fonte: <https://www.simmexico.com.mx/products/be4080232bbcf300-138/647923000008557237>

Figura 32: Anúncio Capacitor WEG UCWT50V40 U28 HD 50kVAr 380V delta



 MINHA CONTA

Você está em: [Home](#) > [CAPACITORES](#) > CAPACITOR TRIFÁSICO UCWT50V40U28HD 50KVAR 380V 13365637 - WEG




CAPACITOR TRIFÁSICO UCWT50V40U28HD 50KVAR 380V 13365637 - WEG

☆☆☆☆☆ 0 OPINIÕES

Marca: WEG
 Modelo: UCWT50V40U28HD 50KVAR 380V 13365637
 Disponibilidade: Imediata
 Referência: 13365637

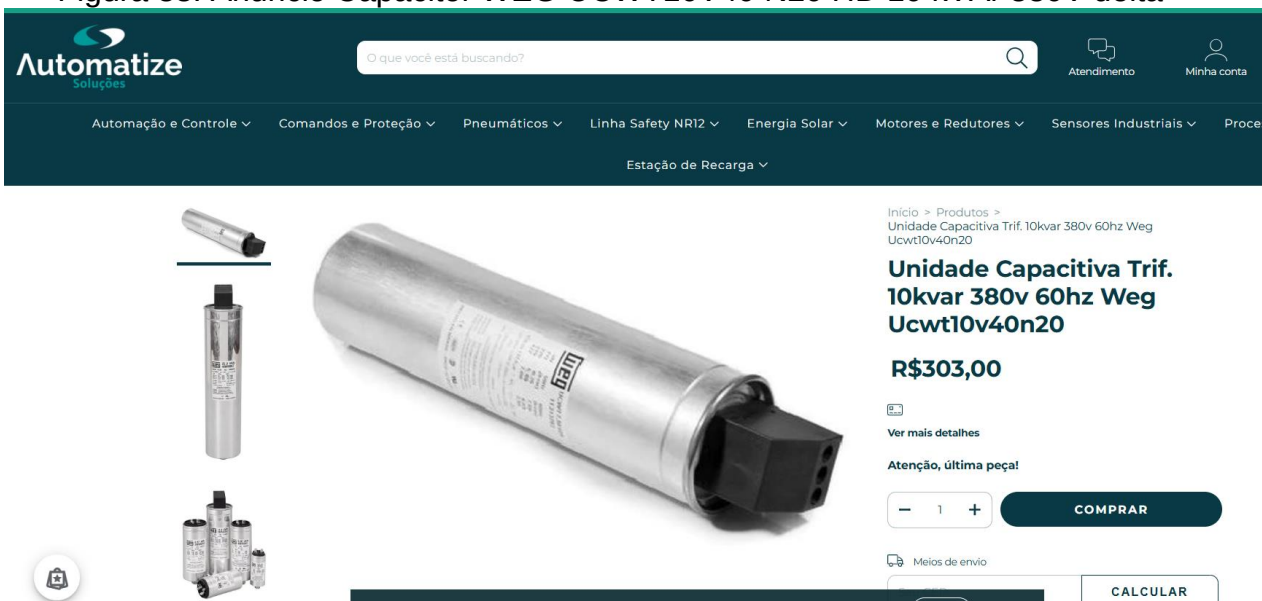
R\$ 1.390,00
[Mais informações](#)

1 / 50 **COMPRAR**

 SIMULADOR DE FRETE: 00000-000 **OK**

Fonte: <https://www.mlmmecatronica.com.br/capacitores/banco-capacitor/capacitor-weg-ucwt-50-0kvar-380v>

Figura 33: Anúncio Capacitor WEG UCWT10V40 N20 HD 10 kVAr 380V delta



Automatize
Soluções

O que você está buscando?

Atendimento Minha conta

Automação e Controle Comandos e Proteção Pneumáticos Linha Safety NRI2 Energia Solar Motores e Redutores Sensores Industriais Processos

Estação de Recarga

Início > Produtos > Unidade Capacitiva Trif. 10kvar 380v 60hz Weg Ucw10v40n20

Unidade Capacitiva Trif. 10kvar 380v 60hz Weg Ucw10v40n20

R\$303,00

Ver mais detalhes

Atenção, última peça!

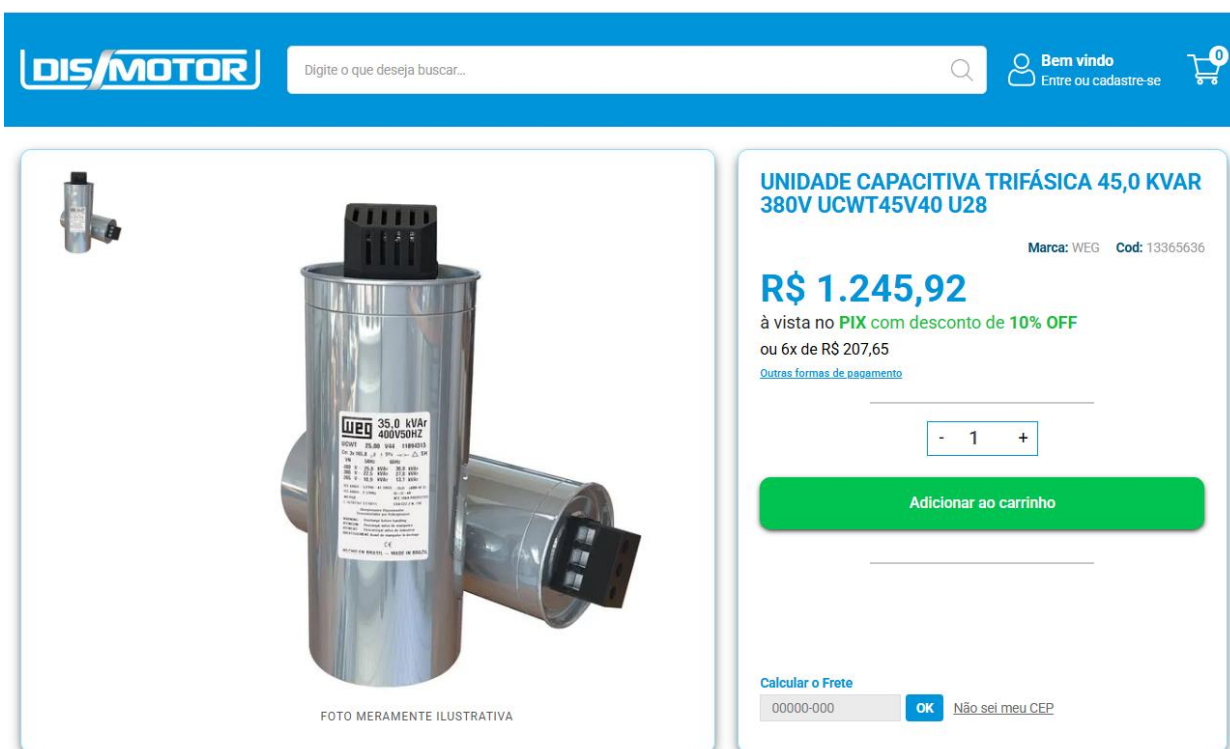
COMPRAR

Meios de envio

CALCULAR

Fonte: <https://ecommerce.automatize.eng.br/produtos/unidade-capacitiva-trif-10kvar380v60hz-weg-ucwt10v40n20ljhsunc/>

Figura 34: Anúncio Capacitor WEG UCWT45V40 U28 HD 45kVAr 380V delta



DISMOTOR

Digite o que deseja buscar...

Bem vindo Entre ou cadastre-se

UNIDADE CAPACITIVA TRIFÁSICA 45,0 KVAR 380V UCWT45V40 U28

Marca: WEG Cod: 13365636

R\$ 1.245,92

à vista no PIX com desconto de 10% OFF
ou 6x de R\$ 207,65

[Outras formas de pagamento](#)

Adicionar ao carrinho

Calcular o Frete

00000-000 OK Não sei meu CEP

FOTO MERAMENTE ILUSTRATIVA

Fonte: <https://www.dismotorshop.com.br/unidade-capacitiva-trifasica-45-0-kvar-380v-ucwt45v40-u28/p>

Fonte: <https://www.lojaeletrica.com.br/capacitor-trifasico-25kvar-380v-ucwt25v40s26weg.html>

Figura 36: Anúncio Capacitor WEG UCWT17,5V40 Q26 HD 17,5kVAr 380V delta

Fonte: <https://www.dimensional.com.br/capacitor-trifasico-res-pu-107uf-17-5kvar-380v-ucwt17-5v40q26-weg/p>

Figura 37: Anúncio Capacitor WEG UCWT12,5V40 N22 HD 12,5kVAr 380V delta

Parceiro WEG | Peças de assistência técnica exclusivas | Entregas em até 48h para as capitais do Sul e Sudeste

energia completa

Faça uma pesquisa...

Entre ou Cadastre-se usando CPF ou CNPJ

Inversores e Softs | Automação Industrial | Motores | Iluminação | Materiais elétricos | Ferramentas e Materiais | Solicitar Orçamento

Home > Materiais Elétricos > Proteção de Circuitos Elétricos > Unidade Capacitiva Trifásica UCWT HD 380V 60Hz V40 WEG



Unidade Capacitiva Trifásica UCWT HD 380V 60Hz V40 WEG 12,5 Kvar 11313820

★★★★★ (1)-Faça uma avaliação

R\$ 341,02 no PIX (10% OFF)
ou no cartão em até 6x de R\$ 63,15 sem juros

+ formas de pagamento

Potência:

12,5 Kvar 11313820

1 **COMPRAR AGORA**

Faça um orçamento

Garantia: 12 meses

Calcule o frete Não sei o meu CEP 00000-000 OK

Fonte: <https://www.energiacompleta.com.br/unidade-capacitiva-trifasica-ucwt-hd-380v-60hz-v40-weg-125-kvar-11313820>

Figura 38: Anúncio Capacitor WEG UCWT5V40 N20 HD 5kVAr 380V delta

PAGANDO COM PIX VOCE GANHA 10% EM DESCONTO

REFER COMÉRCIO

O que deseja procurar?

Central de Atendimento

Olá, bem-vindo(a) Entrar / Cadastrar

Você está em: Home > Proteção de Circuitos > Capacitor > Capacitor WEG Trifásico 380V 5kvar 60Hz UCWT5V40 L16

-7%



Capacitor WEG Trifásico 380V 5kvar 60Hz UCWT5V40

REF: 10046012 MARCA: WEG MODELO: UCWT5V40

★★★★★
Seja o primeiro a opinar

Data de lançamento: 01/11/2024
Disponibilidade: Disponível em 3 dias úteis

de R\$ 269,00
R\$ 224,10 à vista
ou R\$ 249,00 em 10x R\$ 24,90 no cartão

Oferta termina em: **2 dias 2h 17m 22s**

1 **COMPRAR**

Comprar no WhatsApp

Fonte: <https://www.refercomercio.com.br/protecao-de-circuitos/capacitor/capacitor-weg-trifasico-380v-5kvar-60hz-ucwt5v40-l16>

Figura 39: Anúncio Capacitor WEG UCWT0,75V40 L10 HD 0,75kVAr 380V delta



Seja bem-vindo(a),
Entrar ou cadastrar
Meus
Favoritos
Meu
Carrinho

[Todos os Departamentos](#)
[Eletrodomésticos](#)
[Eletroportáteis](#)
[TVs e Som](#)
[Casa e Construção](#)
[Móveis](#)
[Informática](#)
[Celulares](#)

[INÍCIO](#) > [CASA E CONSTRUÇÃO](#) > [TRANSFORMADOR](#) > [UNIDADE CAPACITIVA WEG UCWT0,7...](#)

Favoritar
Compartilhar



UNIDADE CAPACITIVA WEG UCWT0,75V40 L10 HD 0,75KVAR 380V 60HZ

Cód. Sku do produto: 59865

R\$ 160,55 no Pix
ou R\$ 169,00 em até 18x de R\$ 12,29 no cartão de crédito

[Ver formas de pagamento](#)

COMPRAR

Calcule o frete e o prazo de entrega

Calcular [Não sei o meu CEP](#)

Fonte: <https://loja.audiolar.com.br/unidade-capacitiva-weg-ucwt0-75v40-l10-hd-0-75kvar-380v-60hz/p/59865>

ANEXO B: TABELAS DE REFERÊNCIA

Tabela 24: Catálogo de Motores Trifásicos WEG (2 e 4 pólos)

Motor Trifásico IP55																								
Potência		Carcaça	RPM	Corrente nominal em 220V (A)	Corrente com rotor bloqueado I_b/I_n	Conjugado nominal C_n (kgfm)	Conjugado com rotor bloqueado C_b/C_n	Conjugado máximo C_{max}/C_n	Rendimento η %			Fator de potência Cos ϕ			Fator de serviço F S	Momento de inércia J (kgm ²)	Tempo máx. com rotor bloqueado (s) a quente	Nível médio de pressão sonora dB (A)	Peso aprox. (kg)					
cv	kW								% da potência nominal			50 75 100												
2 Pólos - 60 Hz																								
0,16	0,12	63	3420	0,77	5,3	0,03	4	4	45	53	58,1	0,53	0,63	0,7	1,15	0,0001	21	56	7					
0,25	0,18	63	3360	1,02	4,7	0,05	3	3,4	52	58	61,9	0,6	0,68	0,75	1,15	0,00012	16	56	7					
0,33	0,25	63	3390	1,34	5	0,07	3,2	3	54,2	59	62,3	0,62	0,72	0,78	1,15	0,00014	12	56	7					
0,5	0,37	63	3380	1,71	5,5	0,11	3,2	3,2	55,2	65,5	68,4	0,6	0,73	0,83	1,15	0,00019	9	56	8					
0,75	0,55	71	3400	2,39	6,2	0,16	2,9	3,1	63,2	68,5	71	0,64	0,77	0,85	1,15	0,00037	8	60	10					
1	0,75	71	3425	3,01	7,2	0,21	3,5	3,6	70	74	77	0,68	0,78	0,85	1,15	0,00052	8	60	11					
1,5	1,1	80	3370	4,28	7,5	0,32	3	3	76,5	78	78,5	0,7	0,8	0,86	1,15	0,00079	8	62	14					
2	1,5	80	3380	5,46	7,5	0,43	3	2,8	77	79	81	0,73	0,82	0,89	1,15	0,00096	7	62	16					
3	2,2	90S	3465	8,43	7,8	0,62	3	3	78,5	80	81,5	0,66	0,77	0,84	1,15	0,00205	5	68	20					
4	3	90L	3450	11	7,9	0,85	3	3,4	81,5	82,5	83	0,7	0,8	0,86	1,15	0,00266	4	68	23					
5	3,7	100L	3485	12,9	8	1,03	2,6	2,8	81	84,8	85,6	0,75	0,83	0,88	1,15	0,00672	6	71	32					
6	4,5	112M	3465	15,8	7,5	1,26	2,2	2,9	82,8	84,2	85	0,77	0,85	0,88	1,15	0,00727	8	69	38					
7,5	5,5	112M	3500	19,1	8	1,53	2,6	3,4	84	86,2	86,7	0,72	0,8	0,87	1,15	0,00842	8	69	41					
10	7,5	132S	3510	25,5	7	2,08	2,2	2,8	84	86,5	87,6	0,77	0,85	0,88	1,15	0,02243	12	72	64					
12,5	9,2	132M	3510	31,4	7,8	2,55	2,2	2,8	85,8	87,2	87,5	0,77	0,84	0,88	1,15	0,0243	10	72	67					
15	11	132M	3520	36,9	8,5	3,04	2,6	3,3	85	87,5	87,8	0,77	0,85	0,89	1,15	0,02804	5	72	72					
20	15	160M	3540	50,3	7,8	4,13	2,3	3	86,4	88,6	89	0,75	0,84	0,88	1,15	0,04706	9	75	104					
25	18,5	160M	3525	61,6	8	5,11	2,4	2,8	88	89,5	89,5	0,78	0,85	0,88	1,15	0,05295	7	75	111					
30	22	160L	3530	72,1	8,5	6,07	2,5	3	90,2	91	91	0,78	0,85	0,88	1,15	0,06471	8	75	126					
40	30	200M	3555	99	7,2	8,22	2,9	2,9	88,5	90	90,4	0,8	0,86	0,88	1,15	0,17042	11	79	213					
50	37	200L	3560	120	7,5	10,1	3	2,9	90	91,5	92,2	0,81	0,86	0,88	1,15	0,2063	17	79	240					
60	45	225S/M	3560	143	8	12,3	2,6	3	88	90	91,7	0,82	0,87	0,9	1	0,34083	17	83	380					
75	55	225S/M	3555	174	8	15,1	2,5	2,7	89	91,3	92,4	0,85	0,88	0,9	1	0,44846	13	83	430					
100	75	250S/M	3560	233	8,2	20,5	3	3,3	90	92,1	93	0,85	0,9	0,91	1	0,50227	11	85	465					
125	90	280S/M	3575	289	8,5	24,5	2,5	3	89	91,5	93	0,8	0,85	0,88	1	1,27083	50	84	735					
150	110	280S/M	3570	344	7,8	30	2,5	2,7	89	92	93,3	0,82	0,86	0,9	1	1,27083	34	84	735					
175	132	315S/M	3565	412	7,9	36,1	2,5	2,6	89,2	92	93,5	0,85	0,88	0,9	1	1,41204	26	87	814					
200	150	315S/M	3575	465	8,2	40,9	2,7	2,8	90	92,5	94,1	0,84	0,87	0,9	1	1,64738	25	87	883					
250	185	315S/M	3570	573	8,1	50,5	2,9	2,7	90	92,8	94,1	0,86	0,89	0,9	1	2,1806	30	87	1007					
250	185	355M/L	3580	567	7,5	50,3	1,8	2,5	90,8	92,9	94,1	0,88	0,9	0,91	1	3,67719	70	96	1302					
300	220	355M/L	3580	662	7,2	59,9	1,7	2,5	91	92,7	93,8	0,88	0,91	0,93	1	4,36666	70	96	1515					
350	260	355M/L	3580	781	7,6	70,7	1,7	2,4	91,8	93,8	94	0,89	0,92	0,93	1	5,17105	60	96	1650					

Potência		Carcaça	RPM	Corrente nominal em 220V (A)	Corrente com rotor bloqueado I_b/I_n	Conjugado nominal C_n (kgfm)	Conjugado com rotor bloqueado C_b/C_n	Conjugado máximo C_{max}/C_n	Rendimento η %			Fator de potência Cos ϕ			Fator de serviço F S	Momento de inércia J (kgm ²)	Tempo máx. com rotor bloqueado (s) a quente	Nível médio de pressão sonora dB (A)	Peso aprox. (kg)					
cv	kW								% da potência nominal			50 75 100												
4 Pólos - 60 Hz																								
0,16	0,12	63	1720	0,89	4,5	0,07	3,2	3,4	45	52	57	0,46	0,55	0,62	1,15	0,00045	31	48	7					
0,25	0,18	63	1710	1,14	4,5	0,1	2,8	3	53	60	64	0,47	0,57	0,65	1,15	0,00056	18	48	8					
0,33	0,25	63	1710	1,44	4,5	0,14	2,9	2,9	59	64	67	0,48	0,59	0,68	1,15	0,00067	20	48	8					
0,5	0,37	71	1720	2,07	5	0,21	2,7	2,7	56	64	68	0,48	0,59	0,69	1,15	0,00079	10	47	10					
0,75	0,55	71	1705	2,9	5,5	0,31	3	3,2	62	69	71	0,49	0,6	0,7	1,15	0,00096	10	47	12					
1	0,75	80	1720	3,02	7,2	0,42	2,5	2,9	72	77,5	79,5	0,62	0,74	0,82	1,15	0,00294	8	48	15					
1,5	1,1	80	1720	4,43	7,8	0,62	2,9	3,2	72	77	79,5	0,6	0,73	0,82	1,15	0,00328	5	48	17					
2	1,5	90S	1740	6,12	6,4	0,84	2,5	3	77	81	82,5	0,6	0,72	0,78	1,15	0,0056	7	51	22					
3	2,2	90L	1730	8,7	6,8	1,24	2,6	2,8	79	82	83	0,64	0,75	0,8	1,15	0,00672	6	51	23					
4	3	100L	1725	11,9	7,8	1,69	2,5	2,8	80	81	83	0,61	0,73	0,8	1,15	0,00918	6	54	35					
5	3,7	100L	1715	14	7,6	2,1	2,9	3,1	82,5	84,3	85,5	0,63	0,75	0,81	1,15	0,00995	7	54	35					
6	4,5	112M	1720	16,4	8	2,55	2,6	2,8	83	84	85,5	0,65	0,77	0,84	1,15	0,01741	7	58	45					
7,5	5,5	112M	1740	20	7	3,08	2,2	2,8	86,6	87,5	88	0,69	0,74	0,82	1,15	0,01741	11	58	46					
10	7,5	132S	1760	26,6	8	4,15	2,2	3	86	88	89	0,66	0,77	0,83	1,15	0,04652	5	61	62					
12,5	9,2	132M	1755	33,3	8,7	5,11	2,5	2,9	86,3	87,8	88,5	0,62	0,73	0,82	1,15	0,05427	4	61	72					
15	11	132M	1755	39,3	8,3	6,1	2,3	2,8	86,8	88,2	88,5	0,68	0,8	0,83	1,15	0,05815	4	61	73					
20	15	160M	1760	52,6	6,3	8,3	2,3	2,2	88	89,3	90,2	0,69	0,79	0,83	1,15	0,09535	10	66	110					
25	18,5	160L	1760	64,3	6,5	10,2	2,3	2,4	89	90	91	0,7	0,79	0,83	1,15	0,11542	8	66	125					
30	22	180M	1765	75,5	7,5	12,1	2,8	2,8	89,3	90	91	0,7	0,8	0,84	1,15	0,16145	9	68	160					
40	30	200M	1770	101	6,6	16,5	2,3	2,5	89,5	90,5	91,7	0,72	0,82	0,85	1,15	0,27579	14	71	209					
50	37	200L	1770	122	6,6	20,4	2,3	2,9	90,2	91,5	92,4	0,75	0,83	0,86	1,15	0,33095	12	71	232					
60	45	225S/M	1775	146	7,2	24,7	2,3	2,7	91	92,2	93	0,75	0,84	0,87	1	0,69987	20	75	415					
75	55	225S/M	1770	176	7,4	30,3	2,2	2,7	90,3	92	93	0,76	0,84	0,88	1	0,80485	15	75	415					
100	75	250S/M	1775	243	8,8	41,2	3,2	3,2	91,5	92,5	93,2	0,74	0,83	0,87	1,15	1,15478	11	75	520					
125	90	280S/M	1780	295	7,3	49,2	2,2	2,5	90	92	93,2	0,76	0,84	0,86	1	1,84681	19	80	710					
150	110	280S/M	1780	355	8,3	60,2	2,6	2,7	90	92,3	93,5	0,78	0,84	0,87	1	2,56947	20	80	800					
175	132	315S/M	1780	433	7,5	72,2	2,5	2,5	91	93	94,1	0,8	0,83	0,85	1	2,81036	14	80	880					
200	150	315S/M	1780	484	7,5	82,1	2,4	2,6	90,5	93	94,5	0,75	0,83	0,86	1	3,21884	19	80	950					
250	185	315S/M	1785	597	8,3	101	2,8	2,8	91	93	94,5	0,78	0,84	0,86	1	3,77391	22	80	1010					
250	185	355M/L	1785	584	6,8	101	1,9	2,2	92,2	93,8	94,5	0,78												

Tabela 25: Catálogo WEG Unidades Capacitiva Trifásica Heavy Duty (UCWT) 220V e 380V

Linha de Produtos



Potências UCWT - 60 Hz ¹⁾												
Tensão (V)	Potência reativa (kvar)	Série ²⁾	Referência	Capacitância (uF) (Ligação Δ)	Dimensões Ø x H (mm)	Resistor de descarga (fornecido com a UCWT)		Contator ³⁾	Disjuntor em caixa moldada ³⁾	Fusível gL/gG (A) ³⁾	Código	Peso (kg)
						Referência	Tempo descarga (s) ⁴⁾					
220	0,5	D	UCWT0,5V25 L10 HD	9,1 x 3	60 x 156	Interno	30	CWBC9	-	2	10045998	0,54
	0,75	D	UCWT0,75V25 L10 HD	13,7 x 3	60 x 156	Interno	30	CWBC9	-	4	10045999	0,54
	1,0	D	UCWT1V25 L10 HD	18,3 x 3	60 x 156	Interno	30	CWBC9	-	4	10046000	0,54
	1,5	D	UCWT1,5V25 L10 HD	27,4 x 3	60 x 156	Interno	30	CWBC9	-	6	10046001	0,54
	2,0	D	UCWT2V25 L10 HD	36,5 x 3	60 x 156	Interno	30	CWBC9	-	10	10046002	0,54
	2,5	D	UCWT2,5V25 L16 HD	45,7 x 3	60 x 204	Interno	30	CWBC9	-	10	10046003	0,69
	3,0	D	UCWT3V25 L16 HD	54,8 x 3	60 x 204	Interno	30	CWBC9	-	16	10046004	0,69
	5,0	E	UCWT5V25 N20 HD	91,3 x 3	75 x 225	3 x 82 kΩ / Delta	30	CWBC9	DWB160B20-3DX	25	11313760	1,37
	7,5	E	UCWT7,5V25 N22 HD	137 x 3	75 x 285	3 x 82 kΩ / Delta	30	CWBC18	DWB160B32-3DX	35	11313783	1,75
	10,0	E	UCWT10V25 N22 HD	182,7 x 3	75 x 285	3 x 82 kΩ / Delta	30	CWBC25	DWB160B40-3DX	50	11313782	1,75
	12,5	F	UCWT12,5V25 S26 HD	228,4 x 3	100 x 230	3 x 82 kΩ / Delta	30	CWBC32	DWB160B50-3DX	63	11914851	2,17
	15,0	F	UCWT15V25 Q26 HD	274 x 3	116 x 230	3 x 82 kΩ / Delta	30	CWBC32	DWB160B63-3DX	63	11914853	2,69
	17,5	F	UCWT17,5V25 S28 HD	319,7 x 3	116 x 290	3 x 82 kΩ / Delta	90	CWBC50	DWB160B70-3DX	80	12271622	3,50
	20,0	F	UCWT20V25 S28 HD	365,4 x 3	116 x 290	3 x 82 kΩ / Delta	90	CWBC50	DWB160B80-3DX	100	12271626	3,50
	25,0	F	UCWT25V25 U28 HD	456,7 x 3	136 x 290	3 x 82 kΩ / Delta	90	CWBC50	DWB160B100-3DX	125	13365111	4,43
	30,0	F	UCWT30V25 U28 HD	548,1 x 3	136 x 290	3 x 82 kΩ / Delta	90	CWBC65	DWB160B125-3DX	160	13365631	4,43
380	0,5	D	UCWT0,5V40 L10 HD	3,1 x 3	60 x 156	Interno	30	CWBC9	-	2	10046005	0,54
	0,75	D	UCWT0,75V40 L10 HD	4,6 x 3	60 x 156	Interno	30	CWBC9	-	2	10046006	0,54
	1,0	D	UCWT1V40 L10 HD	6,1 x 3	60 x 156	Interno	30	CWBC9	-	4	10046007	0,54
	1,5	D	UCWT1,5V40 L10 HD	9,2 x 3	60 x 156	Interno	30	CWBC9	-	4	10046008	0,54
	2,0	D	UCWT2V40 L10 HD	12,2 x 3	60 x 156	Interno	30	CWBC9	-	6	10046009	0,54
	2,5	D	UCWT2,5V40 L10 HD	15,3 x 3	60 x 156	Interno	30	CWBC9	-	6	10046010	0,54
	3,0	D	UCWT3V40 L10 HD	18,4 x 3	60 x 156	Interno	30	CWBC9	-	10	10046011	0,54
	5,0	D	UCWT5V40 L16 HD	30,6 x 3	60 x 204	Interno	30	CWBC9	-	16	10046012	0,68
	7,5	E	UCWT7,5V40 N20 HD	45,9 x 3	75 x 225	3 x 120 kΩ / Delta	30	CWBC9	DWB160B16-3DX	20	11313784	1,37
	10,0	E	UCWT10V40 N20 HD	61,2 x 3	75 x 225	3 x 120 kΩ / Delta	30	CWBC9	DWB160B25-3DX	25	11313787	1,38
	12,5	E	UCWT12,5V40 N22 HD	76,5 x 3	75 x 285	3 x 120 kΩ / Delta	30	CWBC18	DWB160B32-3DX	30	11313820	1,71
	15,0	E	UCWT15V40 N22 HD	91,8 x 3	75 x 285	3 x 120 kΩ / Delta	30	CWBC18	DWB160B32-3DX	35	11313821	1,75
	17,5	F	UCWT17,5V40 Q26 HD	107,2 x 3	100 x 230	3 x 120 kΩ / Delta	30	CWBC25	DWB160B40-3DX	50	11916880	2,18
	20,0	F	UCWT20V40 Q26 HD	122,5 x 3	100 x 230	3 x 120 kΩ / Delta	30	CWBC25	DWB160B50-3DX	50	11916901	2,18
	22,5	F	UCWT22,5V40 S26 HD	137,8 x 3	116 x 230	3 x 120 kΩ / Delta	30	CWBC32	DWB160B50-3DX	63	11916903	2,69
	25,0	F	UCWT25V40 S26 HD	153,1 x 3	116 x 230	3 x 120 kΩ / Delta	30	CWBC32	DWB160B63-3DX	63	11916924	2,69
	30,0	F	UCWT30V40 S28 HD	183,7 x 3	116 x 290	3 x 120 kΩ / Delta	90	CWBC50	DWB160B63-3DX	80	12272194	3,50
	35,0	F	UCWT35V40 S28 HD	214,3 x 3	116 x 290	3 x 120 kΩ / Delta	90	CWBC50	DWB160B80-3DX	100	12267042	3,50
	40,0	F	UCWT40V40 U28 HD	244,9 x 3	136 x 290	3 x 120 kΩ / Delta	90	CWBC50	DWB160B100-3DX	100	13365634	4,45
	45,0	F	UCWT45V40 U28 HD	275,5 x 3	136 x 290	3 x 120 kΩ / Delta	90	CWBC65	DWB160B100-3DX	125	13365636	4,45
	50,0	F	UCWT50V40 U28 HD	306,2 x 3	136 x 290	3 x 120 kΩ / Delta	90	CWBC65	DWB160B125-3DX	125	13365637	4,45

Fonte: WEG (2022).

Tabela 26: Valor Médio de Resistência e Reatância de Sequência Positiva para condutores de PVC/70°C

	Impedância de sequência positiva	
Seção	(mΩm/m)	
	Resistência	Reatância
1,5	14,8137	0,1378
2,5	8,8882	0,1345
4	5,5518	0,1279
6	3,7035	0,1225
10	2,2221	0,1207
16	1,3899	0,1173
25	0,8891	0,1164
35	0,6353	0,1128
50	0,4450	0,1127
70	0,3184	0,1096
95	0,2352	0,1090
120	0,1868	0,1076
150	0,1502	0,1074
185	0,1226	0,1073
240	0,0958	0,1070
300	0,0781	0,1068
400	0,0608	0,1058
500	0,0507	0,1051
630	0,0292	0,1042

Fonte: Mamede Filho (2017).