

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA ELÉTRICA-ELETROTÉCNICA**



KAYAN ALBUQUERQUE RODRIGUES

**ESTUDO DE CASO SOBRE O IMPACTO DA CORREÇÃO DO FATOR DE
POTÊNCIA EM UMA INDÚSTRIA DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS.**

MANAUS

2025

KAYAN ALBUQUERQUE RODRIGUES
MATRÍCULA 21951638

**ESTUDO DE CASO SOBRE O IMPACTO DA CORREÇÃO DO FATOR DE
POTÊNCIA EM UMA INDÚSTRIA DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS.**

Trabalho de Conclusão de Curso, TCC, apresentado ao Curso de Graduação, da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica-Eletrotécnica, sob a orientação do Prof. Dr. Ozenir Farah da Rocha Dias.

MANAUS
2025

RESUMO

O setor industrial é um dos principais consumidores de energia elétrica no Brasil, consumo esse que representa parcela significativa das despesas operacionais das empresas. Um dos fatores que influenciam diretamente esses custos é o fator de potência, cuja baixa eficiência pode resultar em penalidades financeiras aplicadas pelas concessionárias de energia. Este trabalho apresenta um estudo de caso sobre a correção do fator de potência em uma indústria do Polo Industrial de Manaus, utilizando dados obtidos por uma empresa terceirizada responsável pelo monitoramento elétrico da planta. Após levantar as perdas decorrentes da energia reativa em faturas de energia de anos anteriores a análise visa identificar o comportamento do fator de potência nos transformadores da instalação, e propor alternativas técnicas e econômicas para sua correção, com base na utilização de bancos de capacitores fixos e automáticos. Espera-se, com este estudo, demonstrar o impacto econômico da correção do fator de potência e seus benefícios em termos de eficiência energética e redução de custos operacionais.

Palavras-chave: fator de potência. energia reativa. bancos de capacitores. indústria.

ABSTRACT

The industrial sector is one of the main consumers of electrical energy in Brazil, *representing a significant portion of companies' operational expenses*. One of the factors that directly influence these costs is the power factor, whose low efficiency can result in financial penalties imposed by electric utilities. This paper presents a case study on power factor correction in an industry located in the Manaus Industrial Pole, *using data obtained from an outsourced company responsible for the plant's electrical monitoring*. After assessing the losses caused by reactive energy through the analysis *of previous years' electricity bills*, the study aims to identify the power factor behavior *in the facility's transformers and propose technical and economic alternatives for its correction*, based on the use of fixed and automatic capacitor banks. The study is expected to demonstrate the economic impact of power factor correction and its benefits in terms of energy efficiency and operational cost reduction.

Keywords: power factor. reactive energy. capacitor banks. industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Triângulo de Potências.

Figura 02: Diagrama de Correção de Fator de Potência.

Figura 03: Diagrama de Correção Geral de Fator de Potência.

Figura 04: Triângulo de Potências para correção de fator de potência.

Figura 05: Diagrama de Blocos das Subestações.

Figura 06: Foto da Subestação 01.

Figura 07: Valores médios das correntes no Trafo 01 da SE 01.

Figura 08: Valores médios do fator de potência no Trafo 01 da SE 02.

Figura 09: Valores máximos de corrente no Trafo 01 da SE 02.

Figura 10: Valores médios de potência ativa no Trafo 01 da SE 02.

Figura 11: Valores médios de potência aparente no Trafo 01 da SE 02.

Figura 12: Valores médios de potência reativa no Trafo 01 da SE 02.

Figura 13: Antes e depois do diagrama unifilar do Trafo 04 da SE04.

Figura 14: Gráfico de Retorno do Investimento.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Tipos de Correção de Fator de Potência.

Tabela 02: Custo da Energia Reativa Excedente em 2021.

Tabela 03: Impacto anual das multas por excedente de reativos.

Tabela 04: Valores de Potência medidos no Trafo 01 da SE 01.

Tabela 05: Valores de Potência medidos no Trafo 01 da SE 02.

Tabela 06: Medições dos Transformadores.

Tabela 07: Proposta de correção do fator de potência individual dos trafos.

Tabela 08: Relação de Materiais.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
1.1. OBJETIVOS.....	9
1.1.1. OBJETIVOS GERAIS.....	9
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
1.2. METODOLOGIA UTILIZADA	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. POTÊNCIAS ELÉTRICAS	11
2.2. FATOR DE POTÊNCIA.....	12
2.3. CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA.....	13
2.4. CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA.....	14
2.4.1. LOCALIZAÇÃO DOS CAPACITORES	15
2.5. BANCOS DE CAPACITORES	18
2.5.1. BANCOS DE CAPACITORES FIXOS	19
2.5.2. BANCO DE CAPACITORES CHAVEADOS	19
2.5.3. DIMENSIONAMENTO DE UM BANCO DE CAPACITORES	20
2.5.4. FATURAMENTO DA ENERGIA	21
3. METODOLOGIA DO ESTUDO	23
3.1. DESCRIÇÃO DA EMPRESA E PERFIL DE CONSUMO	23
3.2. CARACTERÍSTICAS DA INSTALAÇÃO E PRINCIPAIS CARGAS.....	23
3.3. MEDIÇÕES E ESTUDO SOBRE O FATOR DE POTÊNCIA	25
4. ESTUDO DE CASO	27
4.1. RESULTADO DAS MEDIÇÕES	29
4.1.1 TRANSFORMADOR 01 DA SUBESTAÇÃO 01 (75 KVA)	29
4.1.2. TRANSFORMADOR 01 DA SUBESTAÇÃO 02 (2000 KVA)	30
5. PROPOSTA DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA	34
4. CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
ANEXO A – Tabelas de Medições dos Transformadores	41
ANEXO B – Gráficos de Fator de Potência Medidos	43

1. INTRODUÇÃO

O fator de potência é um indicador essencial para a avaliação da qualidade do consumo de energia elétrica. Ele reflete a relação entre a potência efetivamente convertida em trabalho útil (potência ativa) e a potência total fornecida pela rede (potência aparente). Em termos práticos, quanto mais próximo da unidade estiver o fator de potência, mais eficiente é o aproveitamento da energia elétrica.

Nas instalações industriais, especialmente em fábricas de médio e grande porte, a predominância de equipamentos de caráter indutivo — como motores elétricos, compressores, transformadores e reatores — tende a reduzir o fator de potência, ocasionando aumento das correntes elétricas e perdas adicionais no sistema. Segundo Andrade (2018), “Valores altos de fator de potência (próximos de 1,0) indicam uso eficiente da energia elétrica, enquanto que valores baixos evidenciam seu mau aproveitamento” (p. 77).

A manutenção de níveis adequados de fator de potência não é apenas uma exigência técnica, mas também regulatória e financeira. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), as concessionárias estão autorizadas a aplicar multas sempre que o fator de potência de uma unidade consumidora se mantiver abaixo de 0,92. Essas penalidades representam custos adicionais que podem comprometer a competitividade das indústrias. Nesse sentido, a correção do fator de potência deve ser encarada como uma medida de eficiência energética, contribuindo não apenas para a redução de perdas técnicas, mas também para a diminuição dos gastos operacionais (DAYRELL, 2022).

O estudo realizado neste trabalho pretende quantificar a perda ocasionada devido a este mau aproveitamento da energia e mostrar o impacto econômico nos custos operacionais e energéticos através da correção do fator de potência numa indústria multinacional que produz pneus do segmento de duas rodas para abastecimento do mercado nacional e internacional no Polo Industrial de Manaus.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVOS GERAIS

- Avaliar o impacto econômico da correção do fator de potência em uma indústria, identificando os benefícios financeiros decorrentes da redução de multas, e do aumento da eficiência energética.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar o perfil de consumo de energia elétrica e as características do sistema elétrico instalado na indústria analisada.
- Analisar os dados referentes ao fator de potência atual da fábrica.
- Levantar os custos decorrentes de multas aplicadas pela concessionária de energia nos últimos 3 anos devido ao baixo fator de potência.
- Propor soluções técnicas viáveis para a correção do fator de potência.
- Demonstrar os benefícios financeiros obtidos com a correção do fator de potência.

1.2. METODOLOGIA UTILIZADA

A pesquisa foi realizada em duas etapas, a primeira etapa do presente trabalho foi concentrada no entendimento do que é o fator de potência, suas causas e seus impactos. Assim, para o entendimento destes pontos foi realizada uma revisão bibliográfica pertinente ao tema de correção do fator de potência, como corrigir o fator de potência e os tipos de correção que podem ser aplicados em uma indústria.

Posteriormente, foi apresentado a execução do estudo de caso em que foram realizados dois levantamentos para atingir a viabilidade do projeto:

- Levantamento dos dados do perfil de consumo da planta industrial, analisando o funcionamento da planta, suas características, suas despesas com energia e o impacto das multas recebidas nos últimos 3 anos;
- Um levantamento estatístico de medições realizadas em um período de sete dias para diagnosticar os pontos críticos da planta em relação ao baixo fator de potência atual da fábrica;

Para a análise, serão utilizados dados já existentes, coletados por uma empresa terceirizada especializada em medições elétricas.

Essa empresa realizou um monitoramento contínuo, durante um período de 7 dias, em todos os transformadores da unidade fabril, registrando parâmetros elétricos como potência, correntes, tensões e consumo de energia.

Com base nesses dados, será feita a avaliação do fator de potência atual de vários pontos da instalação e a identificação dos custos associados a multas aplicadas pela concessionária de energia analisando o histórico de faturas da fábrica. Em seguida, serão calculados cenários de correção do fator de potência por meio de soluções técnicas adequadas (como bancos de capacitores automáticos).

Por fim, será realizada uma análise de viabilidade econômica, comparando o investimento necessário para implantação das soluções propostas com os benefícios financeiros decorrentes da eliminação ou redução das penalidades.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para melhor compreensão do estudo, foi analisado primeiramente os principais conceitos, onde se foi obtida uma visão geral do estudo do fator de potência explicando primeiramente o que é potência, identificando as principais características, causas e consequências do baixo fator de potência, métodos de correção, vantagens e desvantagens, e impactos da correção ou falta de correção juntamente com a legislação e diretrizes que regem o tema.

2.1. POTÊNCIAS ELÉTRICAS

Antes de definir os conceitos de fator de potência, é importante definir o que são as potências elétricas e os tipos de potência presentes em uma instalação elétrica.

Potência pode ser definida como uma grandeza física que mede o trabalho realizado em um período de tempo determinado. Em um circuito elétrico, existem três tipos de potência explicados a seguir:

Potência Ativa: é a potência transformada integralmente em trabalho. Sendo o produto da diferença de potencial entre os dois terminais analisados e a corrente que passa entre eles vezes o cosseno do ângulo de defasagem do sistema medida em Watts como mostrado na Equação (1).

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi [W] \quad (1)$$

Potência Reativa: ao contrário da potência ativa, a potência reativa não realiza trabalho. Aparece no circuito devido às características das impedâncias dos componentes da rede e dos equipamentos ligados a ela. Sua unidade é o Var, ou Volt-Ampère-Reativo sua fórmula é a da Equação (2).

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi [Var] \quad (2)$$

Potência Aparente: é a potência total, obtida pela soma vetorial das potências ativa e reativa ou também como na fórmula da Equação (3). É representada pela letra S e medida em Volt-Ampère (VA).

$$S = U \cdot I [VA] \quad (3)$$

2.2. FATOR DE POTÊNCIA

Pode-se afirmar que o fator de potência é a relação entre potência ativa (aquela que efetivamente produz trabalho) e potência reativa (aquela que não produz trabalho) definida pela fórmula da equação (4) a seguir:

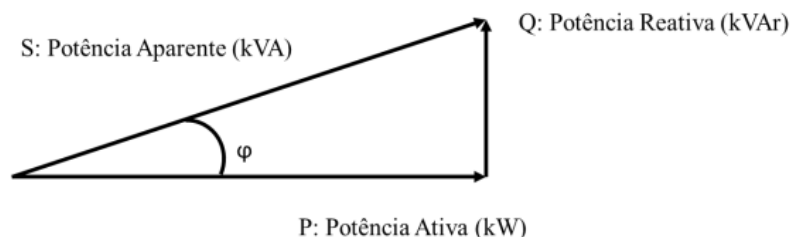
$$FP = \frac{P}{S} = \cos \varphi \quad (4)$$

Onde:

- FP: Fator de Potência;
- P: Potência Ativa (em kW);
- S: Potência Aparente (em kVA);

Na Figura 1, é apresentado o triângulo das potências, que nos permite melhor entendimento sobre a relação entre as potências.

Figura 01: Triângulo de Potências.



Fonte: Adaptado pelo Autor (2025).

O consumo de energia reativa deve ser baixo (apenas o suficiente para criar o fluxo magnético necessário nas bobinas dos motores, transformadores, geradores entre outros equipamentos) pois o excesso da mesma exigirá, por exemplo, condutores de maior secção transversal que são economicamente menos viáveis e transformadores de maior capacidade.

O fator de potência é, portanto, um indicativo de uso eficiente de energia elétrica, quanto mais baixo, maior será a quantidade de energia desperdiçada em forma de potência reativa (ANDRADE, 2018).

Com base nisso, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece para unidades consumidoras com tensão inferior a 230 kV o valor de 0,92 (indutivo ou capacitivo) como o valor mínimo exigido do fator de potência (PRODIST, Módulo 8, 2022).

O fator de potência pode ser classificado, como citado anteriormente, de duas maneiras, indutivo e capacitivo.

Quando o fator de potência é indutivo significa que a instalação elétrica observada está absorvendo a energia reativa em excesso.

Já o fator de potência capacitivo surge quando, para reduzir o fator de potência indutivo, são instalados capacitores em excesso. Isso ocorre, principalmente, quando os equipamentos elétricos indutivos são desligados e os capacitores permanecem ligados na instalação elétrica gerando então mais energia capacitiva, também sendo passível de multas caso ultrapasse o permitido pela ANEEL.

2.3. CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA

A energia reativa em excesso em uma instalação elétrica, inviabiliza sua plena utilização, condicionando a instalação de novas cargas a investimentos que seriam evitados se o fator de potência apresentasse valores mais altos, ou seja, temos a impossibilidade de se usar uma rede em sua plena capacidade e a necessidade de utilizar cabos com maior bitola para compensar o aumento da corrente.

Financeiramente as consequências do baixo fator de potência são atreladas ao custo para manter a instalação. Além do aumento das perdas por efeito Joule, para compensar essas sobrecargas deve-se investir em diversos elementos da instalação, cujo custo não é baixo, por exemplo, o custo dos cabos, proteção e controle dos equipamentos cresce com o aumento da corrente, e da energia reativa, segundo *Andrade (2018)*, “Se o fator de potência cair para 0,5, serão necessários cabos com 4 vezes a área útil para dar conta da corrente exigida pela instalação”.

Uma das principais causas do fator de potência será o superdimensionamento seja por falha de projeto ou pela falta de um, transformadores e cargas superdimensionadas irão abaixar o fator de potência da instalação.

A correção do fator de potência dependendo da situação, por si só já libera capacidade para instalação de novos equipamentos, sem a necessidade de

investimentos em transformador ou substituição de condutores para esse fim específico, e, portanto, o próprio rearranjo das cargas dentro da instalação pode melhor distribuir os fatores de demanda e aumentar o fator de potência da instalação.

E entre as principais consequências do baixo fator de potência estão as multas mensais aplicadas pela concessionária de energia, conforme constam na Resolução Normativa 414 da ANEEL, que podem representar uma parte considerável da fatura de energia e dos custos operacionais de uma indústria de grande porte. Caso o fator de potência medido seja menor que 0,92, seja ele indutivo ou capacitivo, o consumidor deverá pagar por excedentes reativos por consumir ou injetar quantidades excessivas de energia reativa na rede.

Para além das consequências financeiras, o aumento da corrente pela energia reativa em excesso pode causar sobrecargas perigosas, que em instalações mais antigas, com proteções mal dimensionadas ou pouco cuidadas com manutenção deficiente podem oferecer um risco real a segurança das pessoas e a integridade da instalação, adicionando aí uma consequência direta a saúde e meio ambiente.

Em síntese então, os principais causadores de um baixo fator de potência, podem ser:

- Motores elétricos trabalhando em vazio (sem nenhuma carga acoplada);
- Motores elétricos superdimensionados para as cargas instaladas;
- Transformadores superdimensionados alimentando pequenas cargas;
- Lâmpadas de descarga (fluorescente, vapor de mercúrio, etc.);
- Grande quantidade de motores elétricos de pequena potência.
- Projeto mal feito ou a ausência de um projeto.

2.4. CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Para que sejam cumpridas as normas regulamentadas pela ANEEL, e evitados todos os problemas decorrentes de um baixo fator de potência, indústrias enquadradas no Grupo A que possuem excedentes de energia reativa na rede devem realizar a correção de fator de potência de modo a não pagar pelos excedentes reativos.

A correção do fator de potência é feita através da instalação de bancos de capacitores em paralelo com qualquer carga no sistema, e portanto, injetando ou retirando potência reativa capacitiva a fim de compensar o excesso de energia indutiva na rede, levando em conta que se mal dimensionado, o banco de capacitores pode injetar um excesso de energia capacitiva para além do necessário na compensação e acabar por fim causando um desperdício ainda maior visto que o excesso de energia capacitiva na rede também é passível de multa.

De forma simples, podemos definir os métodos de correção de fator de potência de acordo com a distância da carga em que será instalado o banco de capacitores, e a tecnologia de banco de capacitores utilizada para a correção, se bancos de capacitores fixos ou chaveados.

2.4.1. LOCALIZAÇÃO DOS CAPACITORES

A escolha da localização dos capacitores depende de diversos fatores, tais como, os circuitos da instalação, seu comprimento, as variações da carga, tipos de motores e distribuição das cargas. De forma geral, os bancos de capacitores devem estar localizados o mais próximo possível da carga, apesar de nem sempre isso ser possível ou financeiramente viável.

Segundo Monteiro (2020), os bancos de capacitores podem ser instalados:

- Na entrada de energia da rede (alta ou média tensão);
- No secundário de um transformador (baixa tensão);
- Em um quadro de distribuição de energia para um grupo de cargas;
- Diretamente junto a carga.

2.4.1.1. CORREÇÃO INDIVIDUAL DA CARGA

Para grandes cargas indutivas como motores elétricos de maior potência, a correção individual do fator de potência é uma estratégia com grande potencial de redução da circulação de reativos na rede, aliviando cabos e transformadores.

Mais indicado para grandes motores elétricos com operação contínua, existem riscos de sobrecompensação caso a carga opere a vazio, sendo necessária utilização de relés para retirar o capacitor quando o motor parar ou bancos automáticos.

É uma aplicação mais simples quando utilizado em cargas específicas, porém inviável para um grande parque de máquinas visto que seriam necessários muitos bancos de capacitores instalados, aumentando muito a complexidade, possui alto potencial de reduzir os efeitos do excesso de energia reativa indutiva e ajuste fino do fator de potência.

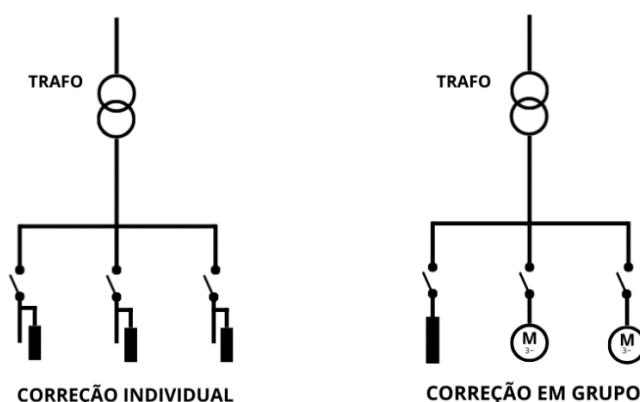
2.4.1.2. CORREÇÃO POR GRUPO DE CARGAS

O banco de capacitor instalado em um QGBT ou CCM representa uma boa relação custo-benefício em relação a correção individual de carga, com maior capacidade de reduzir os reativos e a corrente nos alimentadores.

Sendo mais indicado a instalação em grupos de máquinas com perfil semelhante e operação simultânea, como grupos de pequenos motores, também tem a manutenção facilitada em comparação a instalação para correção individual devido a instalação em um ponto centralizado.

A seguir na Figura 02, está representado ambas as modalidades de correção individual e correção por grupos de carga, com os bancos de capacitores instalados paralelos as cargas que devem corrigir.

Figura 02: Diagrama de Correção de Fator de Potência.



Fonte: Autoria Própria (2025).

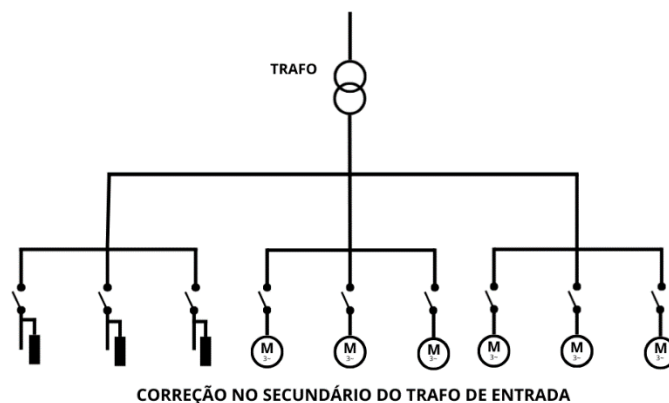
2.4.1.3. CORREÇÃO NO SECUNDÁRIO DO TRANSFORMADOR

A instalação no secundário do transformador é indicada em instalações com um número elevado de cargas com potências diferentes e grandes variações de demanda ao longo do dia ou turnos de trabalho.

Com uma implantação simples em baixa tensão é uma boa opção para os consumidores que tem como estratégia ou objetivo apenas cumprir as exigências técnicas da ANEEL, pois apesar de corrigir o fator de potência ainda está longe da carga e, portanto, tem menos efeito em reduzir sobrecorrentes ou quedas de tensão causados pelo excesso de reativos na rede, apenas aliviando o próprio transformador (ANDRADE, 2018).

Sendo imprescindível a utilização de bancos de capacitores automáticos, se houver grandes variações na demanda, para que não se ultrapassem os limites de reativos capacitivos e se incorram multas indesejadas por conta da sobrecompensação, a Figura 03 a seguir representa essa modalidade de correção.

Figura 03: Diagrama de Correção Geral de Fator de Potência.



Fonte: Autoria Própria (2025).

2.4.1.4. CORREÇÃO NA ENTRADA DA REDE

Capacitores instalados na entrada da rede, ou seja, no lado de alta ou média tensão, não aliviam os transformadores e os circuitos que alimentam os quadros de distribuição, apenas aumentam o fator de potência global (MONTEIRO, 2020).

Esse tipo de aplicação é mais complexa devido as proteções exigidas e manobras realizadas em alta ou média tensão, exigindo também capacitores de maior potência, sendo então mais caras e mais especializadas, mas pode ser viável se a demanda da instalação for contínua e com pouca variação, utilizando bancos de capacitores fixos que eliminariam a necessidade de manobras no banco de capacitor.

Na tabela a seguir, são mostradas as principais vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de correção:

Tabela 02: Tipos de Correção de Fator de Potência.

TIPO DE CORREÇÃO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
INDIVIDUAL	<ul style="list-style-type: none"> • AJUSTE INDIVIDUAL DO FATOR DE POTÊNCIA • GRANDE REDUÇÃO DA CIRCULAÇÃO DE REATIVOS NA REDE 	<ul style="list-style-type: none"> • INVIÁVEL ECONOMICAMENTE PARA MUITAS MÁQUINAS
POR GRUPO	<ul style="list-style-type: none"> • IDEAL PARA CARGAS COM FUNCIONAMENTO SIMULTÂNEO • CIRCULAÇÃO DE REATIVOS NA REDE APENAS PRÓXIMO DA CARGA 	<ul style="list-style-type: none"> • MENOR PRECISÃO DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA
TRAFO BT	<ul style="list-style-type: none"> • AUMENTA O FATOR DE POTÊNCIA GLOBAL • AUMENTA A CAPACIDADE DO TRANSFORMADOR 	<ul style="list-style-type: none"> • NÃO REDUZ A CIRCULAÇÃO DE REATIVOS NA REDE
TRAFO MT/AT	<ul style="list-style-type: none"> • AUMENTA O FATOR DE POTÊNCIA GLOBAL 	<ul style="list-style-type: none"> • MAIS CARO E COMPLEXO • NÃO REDUZ A CIRCULAÇÃO DE REATIVOS NA REDE

Fonte: Autoria Própria (2025).

2.5. BANCOS DE CAPACITORES

Em função da elevada quantidade de energia reativa demandada pelos motores de indução, é prática comum a utilização de bancos de capacitores com o objetivo de corrigir o fator de potência. Essa aplicação é geralmente adotada em instalações trifásicas, o que exige, conseqüentemente, a instalação de bancos de capacitores também trifásicos.

É importante destacar que todos os tipos de indústrias apresentam variações significativas no perfil de carga ao longo do dia, em decorrência de suas rotinas

operacionais. Dessa maneira, o fator de potência nessas indústrias tende a variar durante ao longo do seu período de funcionamento. Para atender as diferentes necessidades de cada perfil de consumo, existem dois modos de conexão dos bancos de capacitores que podem ser empregados na correção do fator de potência: os bancos fixos e os automáticos ou chaveados, e a definição do tipo mais adequado para cada instalação depende diretamente do comportamento da carga no intervalo de tempo analisado.

2.5.1. BANCOS DE CAPACITORES FIXOS

Em unidades industriais que apresentam pequenas variações de carga ao longo do dia, recomenda-se a utilização de bancos de capacitores fixos, visto seu baixo custo e a simplicidade na instalação e manutenção. Esses aspectos garantem uma boa relação custo-benefício, dispensando a necessidade de uma correção dinâmica, mais custosa e complexa, do fator de potência.

Por outro lado, em instalações com grandes oscilações de carga durante o período de operação, esse tipo de banco não se mostra adequado, pois pode, em determinados momentos, fornecer ao sistema uma quantidade de energia reativa capacitiva maior que a requerida, ultrapassando os limites estabelecidos pela ANEEL.

Para indústrias que operam também nos períodos noturnos, de 00h às 06h, onde a multa determinada é para o excesso de reativos capacitivos e não mais indutivos, pode-se usar um banco de capacitor fixo programável com funcionamento apenas em horários pré-determinados evitando assim a sobrecompensação de reativos no período noturno.

2.5.2. BANCO DE CAPACITORES CHAVEADOS

Em sistemas que apresentam grande variação de carga ao longo do dia ou que exigem a manutenção do fator de potência dentro de faixas muito restritas, recomenda-se a utilização de bancos de capacitores chamados chaveados ou automáticos. Sendo uma solução mais complexa e, portanto, mais cara, além dos próprios capacitores, esse tipo de solução requer o uso de um Controlador de Fator de Potência (CFP), dispositivo responsável por gerenciar automaticamente a entrada e saída de células capacitivas da rede.

O CFP conta com um sistema capaz de realizar a medição da tensão e corrente, possibilitando o cálculo da potência ativa, reativa, aparente e do próprio fator de potência em tempo real. Com base nesses dados, o equipamento identifica automaticamente a necessidade de inserção ou retirada de bancos de capacitores, de acordo com a faixa de controle previamente configurada pelo usuário.

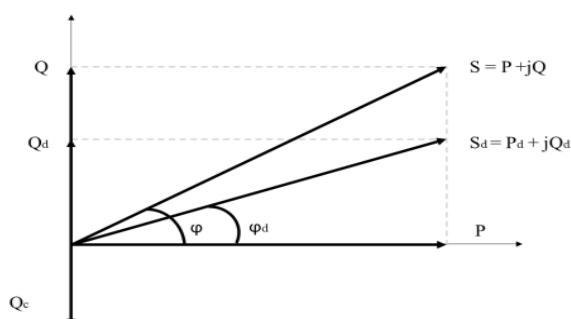
Os controladores de fator de potência podem ser classificados em digitais ou analógicos, os modelos analógicos são simples e econômicos e mais indicados para sistemas menores e mais estáveis, já os controladores digitais são mais complexos e exigem manutenção especializada, mas são mais precisos e rápidos sendo mais recomendados para sistemas elétricos complexos com grande variação nas condições de operação (ABB, 2025).

2.5.3. DIMENSIONAMENTO DE UM BANCO DE CAPACITORES

Ao analisar uma carga, considera-se que a potência ativa permanece constante durante o processo de correção, e que a única parcela da potência a ser modificada é a reativa, por meio da inserção de um banco de capacitores como pode ser visto na Figura 04.

O gráfico representado na Figura 04 considera a correção do fator de potência desejada, com o ângulo de carga depois da correção φ_d , sendo então a comparação dos triângulos de potência da Figura 01 antes e depois da correção.

Figura 04: Triângulo de Potências para correção de fator de potência.



Fonte: Adaptado pelo Autor (2025).

A diferença entre as potências Q e Qd refere-se à potência reativa capacitiva necessária para o banco de capacitores considerando o fator de potência antigo. A Equação (5) a seguir apresenta o cálculo da potência reativa capacitiva necessária do banco de capacitores para a correção do fator de potência em uma determinada carga.

$$Q_c = P * (\tan \varphi - \tan \varphi_d) \quad (5)$$

Onde:

- Qc: Potência reativa necessária para realizar a correção (em kVAr);
- P: Potência ativa do sistema (em kW);
- $\tan \varphi$: Tangente do ângulo de carga antes da correção;
- $\tan \varphi_d$: Tangente do ângulo de carga após a correção;
- $\varphi = \cos^{-1}(FP)$;
- $\varphi_d = \cos^{-1}(FPd)$;
- FP: Fator de Potência Atual;
- FPd: Fator de Potência Desejado.

2.5.4. FATURAMENTO DA ENERGIA

O faturamento do consumo da energia elétrica dos consumidores do grupo A de acordo com a resolução normativa nº 1000 de 2021 é feito da seguinte forma de acordo com a Equação (6):

$$FEA(p) = EEAM(p) \times TE_{COMP}(p) \quad (6)$$

em que:

$FEA(p)$ = faturamento da energia elétrica ativa, por posto tarifário “p”, em Reais (R\$);

$EEAM(p)$ = montante de energia elétrica ativa medido em cada posto tarifário “p” do ciclo de faturamento, em megawatt-hora (MWh);

TE_{COMP} = para o consumidor livre ou especial com CCER celebrado, tarifa de energia “TE”, por posto tarifário “p”, aplicáveis aos subgrupos A, em Reais por

megawatt-hora (R\$/MWh) ou, para as demais unidades consumidoras, a tarifa final de energia elétrica ativa homologada por posto tarifário “p”;

p = posto tarifário, ponta ou fora de ponta, para as modalidades tarifárias horárias.

Para o faturamento da multa por excesso de reativos a norma fornece a Equação (7):

$$E_{RE} = \sum_{T=1}^n \left[EEAM \times \left(\frac{f_R}{f_T} - 1 \right) \right] \times VR_{ERE} \quad (7)$$

em que:

E_{RE} = valor correspondente à energia elétrica reativa excedente à quantidade permitida pelo *fator de potência de referência “ f_R ”, no período de faturamento, em Reais (R\$);*

$EEAM_T$ = *montante de energia elétrica ativa medida em cada intervalo “T” de uma hora, durante o período de faturamento, em megawatt-hora (MWh);*

f_R = fator de potência de referência igual a 0,92;

f_T = fator de potência da unidade consumidora, calculado em cada intervalo “T” de uma hora, durante o período de faturamento;

VR_{ERE} = *valor de referência equivalente à tarifa de energia “TE” da bandeira verde aplicável ao subgrupo B1, em Reais por megawatt-hora (R\$/MWh);*

3. METODOLOGIA DO ESTUDO

3.1. DESCRIÇÃO DA EMPRESA E PERFIL DE CONSUMO

A empresa em que o estudo de caso foi aplicado é uma Multinacional, uma das maiores do segmento, que se posiciona entre as principais líderes de mercado. Com mais de 130 anos de história, presença comercial em mais de 140 países e cerca de 69 unidades industriais espalhadas por todos os continentes do mundo, visando qualidade e inovação no desenvolvimento de seus produtos e serviços e com políticas fortes em eficiência energética e preservação do meio ambiente. Em Manaus a empresa fabrica compostos de borracha que serão posteriormente transformados em pneus para motocicletas e bicicletas.

O processo produtivo se trata de uma produção contínua em que cada processo alimenta o próximo até o fim da cadeia produtiva quando o produto final é estocado e está pronto para a comercialização, a empresa funciona 24 horas por dia e 7 dias por semana, pausando suas atividades poucas vezes durante o ano para manutenções preventivas, funcionando com 4 turnos de operários e funcionários administrativos em horário comercial de 07 horas à 17 horas.

Portanto, sua carga não sofre grandes variações ao longo do tempo, com pico de energia reativa no horário comercial quando existem mais funcionários trabalhando e, portanto, mais eletrônicos ligados na rede da fábrica.

Vale ressaltar que a fonte dos dados, ou seja a empresa e a terceirizada que coletou os dados, em tabelas e figuras foram omitidas por razões de confidencialidade.

3.2. CARACTERÍSTICAS DA INSTALAÇÃO E PRINCIPAIS CARGAS

A unidade fabril é alimentada em 69 kV, e possui 5 subestações em sua planta, uma subestação abaixadora que reduz de 69 kV para 13,8 kV e quatro subestações abaixadoras que reduzem, a depender do setor da fábrica que alimentam, de 13,8 kV para 440V/380V.

A potência instalada em cada subestação varia e a seguir serão descritas cada uma delas além das principais cargas que alimentam.

A subestação de 69 kV possui um transformador de 7,5 MVA e alimenta as subestações 01, 02, 03 e 04.

A subestação 01 possui um transformador de 75 kVA e alimenta a portaria da fábrica, uma balança de caminhões, a iluminação externa, uma torre de telecomunicações e outras pequenas cargas.

A subestação 02 alimenta as maiores cargas da fábrica e possui quatro transformadores de 2000 kVA, entre suas cargas, as principais são:

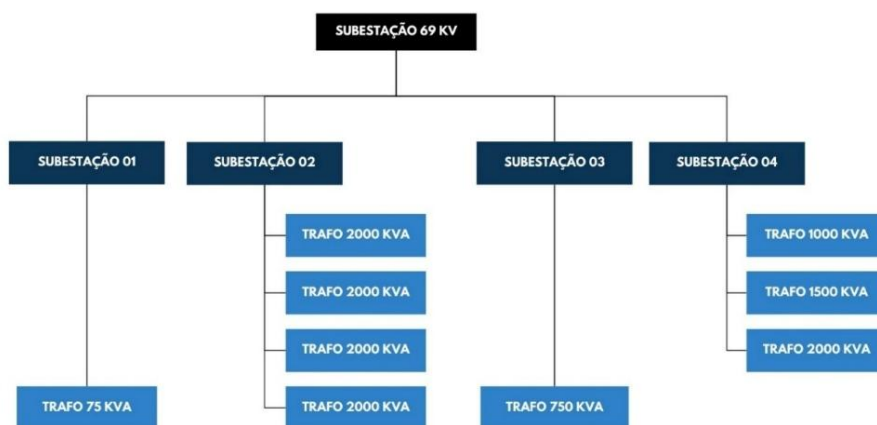
- Dois motores de corrente contínua de 1500 kW;
- Um motor de corrente contínua de 250 kW;
- Dois motores de corrente contínua de 110 kW;
- Dois motores de corrente contínua de 90 kW;
- Cinco motores de corrente contínua de potências entre 11 e 30 kW;
- Sete motores de corrente alternada que variam de 150 a 250 kW.

Já a subestação 03 com um transformador de 750 kVA e alimenta o menor setor da fábrica além das áreas comuns e um restaurante.

Por fim, a subestação 04 possui três transformadores, de 1000 kVA, 1500 kVA e 2000 kVA, alimenta o setor com o maior número de máquinas e grande número de motores de baixa potência, uma caldeira de grande porte, bombas de vácuo, compressores de ar comprimido, e o prédio administrativo.

Na figura 05, a seguir está representado em forma de diagrama de blocos todas as subestações da fábrica.

Figura 05: Diagrama de Blocos das Subestações da Empresa Analisada.



Fonte: Autoria Própria (2025).

Uma das subestações está representada na Figura 06, vale ressaltar que todas seguem o mesmo padrão com transformadores a seco.

Figura 06: Foto da Subestação 01.



Fonte: Coletado pelo Autor (2025).

3.3. MEDIÇÕES E ESTUDO SOBRE O FATOR DE POTÊNCIA

Após obter os dados de fatura da concessionária de energia, quantificar e verificar o impacto financeiro nos últimos quatro anos, se fez necessário um estudo para que houvesse uma melhoria na performance geral do consumo de energia elétrica da fábrica, possibilitando que as condições da planta industrial pudessem evoluir. Desta forma, a equipe da manutenção juntamente da equipe de projetos da empresa contratou uma empresa terceirizada especializada em medições e estudos sobre fator de potência para desenvolver a resolução do problema indicado.

A partir daí, foram realizadas medições em todos os transformadores citados anteriormente, com exceção do transformador de entrada de 69/13,8 kV, para estas medições foi utilizado um medidor analisador de grandezas elétricas incluindo a avaliação das harmônicas que apesar de não serem o foco do trabalho serão citadas, as medições foram realizadas em um período de sete dias ininterruptos, este período foi usado por se tratar de uma empresa com perfil de consumo constante sem muitas variações sendo este período então suficiente para a coleta e análise dos dados.

Neste período foram registradas 988 leituras com intervalo de 10 minutos, onde cada leitura é resultante de 3000 amostragens com tempo de resposta de 200 ms.

A apresentação da análise dos dados coletados foi feita primeiramente em dois transformadores e em sequência uma tabela foi feita sintetizando as informações de todos os transformadores sendo possível enxergar de forma simples todos os transformadores com baixo fator de potência e baixo fator de demanda.

Também foi feita uma tabela com a potência dos bancos de capacitores que seriam necessários para a correção do fator de potência destes transformadores e em seguida utilizando a Equação (5) foi calculado um exemplo do cálculo de dimensionamento do banco de capacitores para um dos transformadores.

Após a análise destes dados coletados pela empresa terceirizada, foi feita uma análise da proposta de correção fornecida também pela terceirizada e sua viabilidade, além do levantamento de custos e material para a instalação total destes bancos de capacitores, calculando e criando um gráfico do tempo de retorno do investimento dessa proposta de correção do fator de potência de acordo com a Equação 8 a seguir.

$$\textit{Tempo de Retorno de Investimento} = \frac{\textit{Investimento Inicial}}{\textit{Retorno}} \quad (8)$$

Por fim, o trabalho foi concluído pontuando a mais provável causa do baixo de fator de potência desta empresa, o impacto da correção do fator de potência de acordo com a proposta feita e um possível estudo futuro a respeito de outras alternativas para a correção do fator de potência da empresa em questão.

4. ESTUDO DE CASO

O setor industrial é um dos maiores consumidores de energia elétrica, e dentro desse cenário, o custo com energia representa parcela significativa das despesas operacionais. No Brasil, e no resto do mundo, as concessionárias de distribuição de energia aplicam penalidades financeiras quando o fator de potência de uma unidade consumidora está abaixo do limite regulatório, específico de cada região do mundo, o que pode impactar diretamente a competitividade das empresas.

A multa intitulada Energia Reativa Excedente na fatura de energia é a penalidade dada pelas concessionárias às empresas que possuem um baixo fator de potência, reflexo do mau aproveitamento da energia elétrica que muitas vezes passa despercebido por gestores que não possuem familiaridade com a legislação ou com a própria estrutura tarifária. Tal situação é recorrente, sobretudo, em estabelecimentos comerciais e prédios ligados em média ou alta tensão que, diferentemente de grandes indústrias, geralmente não contam com equipes técnicas especializadas para monitorar e corrigir o fator de potência.

A correção do fator de potência, além de atender às exigências normativas, representa uma estratégia de eficiência energética e de redução de custos que pode ser benéfico para a empresa a depender de seu histórico de multas, de acordo com o portal Sucesso no Campo (2023), o valor da multa pode chegar a 30% do valor total da fatura de energia.

Então, para que possamos estudar a viabilidade deste estudo, se faz necessário primeiramente identificar o cenário atual da fábrica, observando os atuais custos devido ao baixo fator de potência e o excesso de reativos na rede.

Assim, foram resgatadas as faturas de energia dos últimos quatro anos e analisado a presença de multas por excedente de energia reativa e o impacto dessas multas no fim de cada ano para a empresa.

A Tabela 02 mostra o custo total de energia elétrica no ano de 2021 na fatura de energia foi igual a R\$ 2.083.277,41 com o valor total de multas neste ano sendo de R\$ 302.786,03 representando 14,5% da fatura de energia nesse ano.

Tabela 02: Custo da Energia Reativa Excedente em 2021.

Energia Reativa Exc. (R\$)		
jan/21	R\$	12.810,56
fev/21	R\$	11.766,71
mar/21	R\$	20.790,58
abr/21	R\$	26.011,36
mai/21	R\$	21.641,52
jun/21	R\$	27.010,40
jul/21	R\$	32.211,00
ago/21	R\$	31.261,28
set/21	R\$	31.604,40
out/21	R\$	31.587,19
nov/21	R\$	35.594,65
dez/21	R\$	20.496,38
Total (R\$)	R\$	302.786,03

Fonte: Dados Internos da Empresa (2025).

A partir desses dados foi montada a Tabela 03 com o impacto anual das multas por excedentes de reativos nos anos de 2021 à 2024, com os dados mais atuais no momento da execução desse estudo, em que se observa que os valores pagos e o impacto das multas na fatura correspondem a até 20% da fatura de energia com tendência de aumento nos próximos anos.

Tabela 03: Impacto anual das multas por excedente de reativos.

	Fatura AM ENERGIA		Reativa Excedente	Impacto
2021	R\$	2.083.277,41	R\$ 302.786,03	14,53%
2022	R\$	2.477.834,71	R\$ 277.497,63	11,20%
2023	R\$	3.509.242,01	R\$ 467.981,51	13,34%
2024	R\$	4.368.930,94	R\$ 876.051,20	20,05%
Total	R\$	15.122.708,13	R\$ 2.461.674,92	16,28%

Fonte: Dados Internos da Empresa (2025).

Com isto, através deste estudo realizado, foi possível quantificar e entender o grande impacto no custo da fábrica devido à falta de atenção dada anteriormente para o baixo fator de potência da planta, e conseqüentemente das multas, que nos últimos quatro anos já somam mais de R\$ 2.461.674,92 o equivalente a 16,28% do custo com distribuição de energia nesse período. A seguir são apresentados os resultados, análises e comentários sobre a qualidade da energia nestes transformadores.

A seguir foram realizadas várias medições para aferir a qualidade da energia dos transformadores, nesse trabalho foram utilizados os valores de potências, destacando a máxima potência aparente medida para o cálculo do fator de demanda desses transformadores, além dos valores de tensão e corrente médios, a seguir estão os registros e comentários a respeito dos transformadores de cada subestação.

4.1. RESULTADO DAS MEDIÇÕES

4.1.1 TRANSFORMADOR 01 DA SUBESTAÇÃO 01 (75 KVA)

Na tabela 04 podemos ver que o valor de fator de potência médio medido foi de 0,99, que não está violando o limite mínimo tolerável (0,92), portanto não há necessidade de correção do fator de potência, além disso na figura 07 pode-se notar um desequilíbrio de corrente entre as fases igual a 38,51%, portanto, necessita balanceamento.

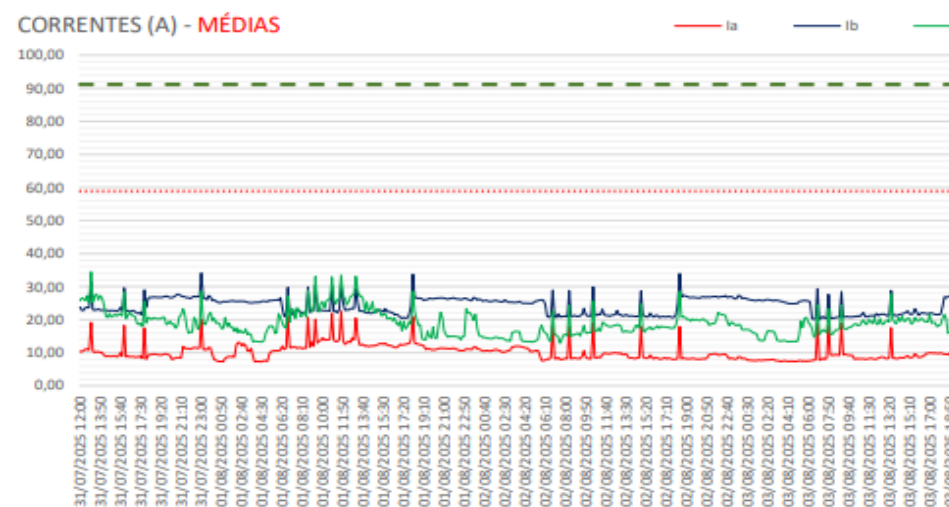
O fator de demanda considerando a carga máxima (kVA) em relação à potência do transformador (75 kVA) foi 22,93%, portanto o transformador tem 73% de seu carregamento disponível para futuras cargas que possam ser adicionadas.

Tabela 04: Valores de Potência medidos no Trafo 01 da SE 01.

POTÊNCIAS	VALORES MEDIDOS			
	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]	FP
Mínimo	7,84	1,20	7,94	0,97
Médio	11,47	1,79	11,62	0,99
Máximo	16,89	3,42	17,20	1,00

Fonte: Dados Internos da Empresa (2025).

Figura 07: Valores médios das correntes no Trafo 01 da SE 01.



Fonte: Dados Internos da Empresa (2025).

4.1.2. TRANSFORMADOR 01 DA SUBESTAÇÃO 02 (2000 KVA)

O valor de fator de potência médio medido foi baixíssimo, de 0,43 como se pode observar na tabela 05, chegando a aproximadamente 0,28 em alguns momentos como pode se ver na figura 08, o pior entre todas as medições realizadas, e que está violando o limite mínimo tolerável, portanto há necessidade de correção do fator de potência.

O fator de demanda considerando a carga máxima (kVA) em relação à potência do transformador (2000kVA) foi 42,62%, vale destacar que operar com baixo carregamento é uma das causas do baixo fator de potência em um transformador, este cenário de baixo carregamento e altos reativos pode ser visto nas figuras 10, 11 e 12.

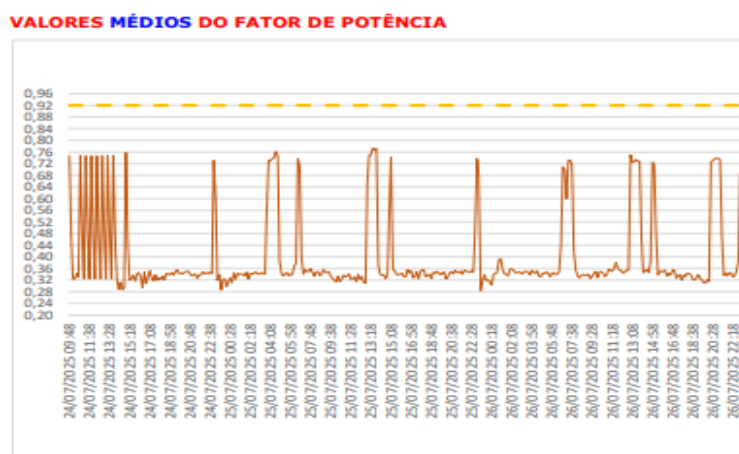
Por conta do baixo fator de potência de 0,43 pode-se notar, na Figura 09, uma grande quantidade de picos de corrente acima da corrente nominal de 1750 A do transformador que podem causar altas elevações na temperatura do transformador que podem diminuir a vida útil do transformador ou causar falhas críticas.

Tabela 05: Valores de Potência medidos no Trafo 01 da SE 02.

POTÊNCIAS	VALORES MEDIDOS			
	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]	FP
Mínimo	0,53	0,19	0,56	0,20
Médio	175,39	461,36	493,67	0,43
Máximo	307,95	794,86	852,42	0,94

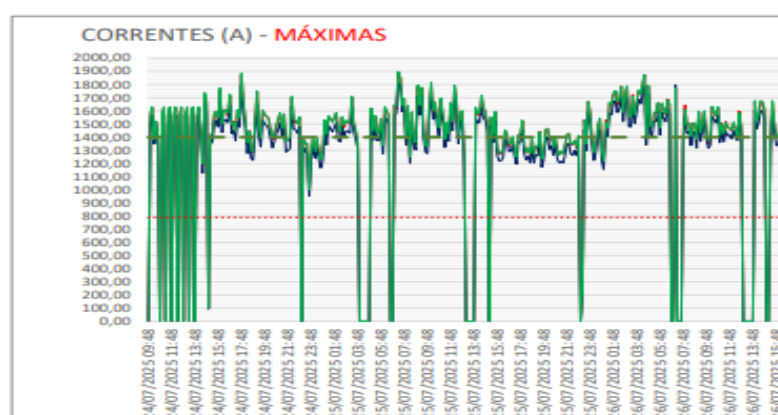
Fonte: Dados Internos da Empresa (2025).

Figura 08: Valores médios do fator de potência no Trafo 01 da SE 02.



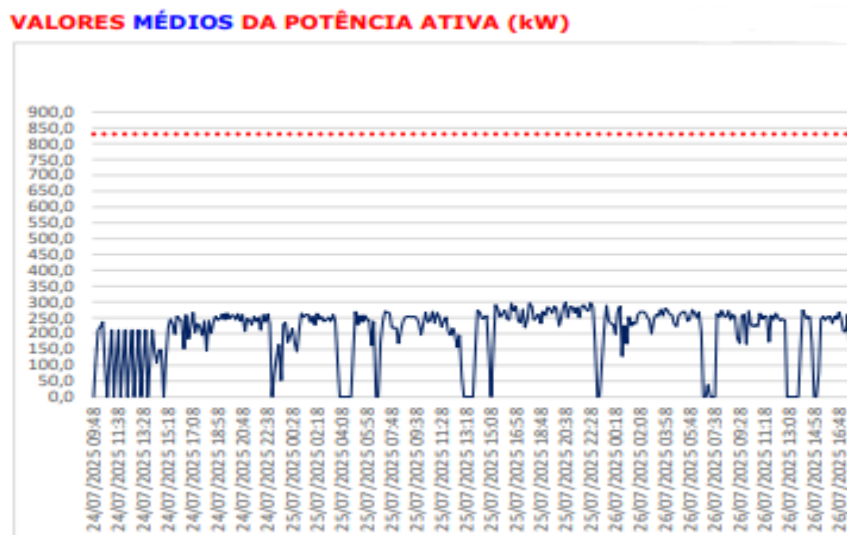
Fonte: Dados Internos da Empresa (2025).

Figura 09: Valores máximos de corrente no Trafo 01 da SE 02.



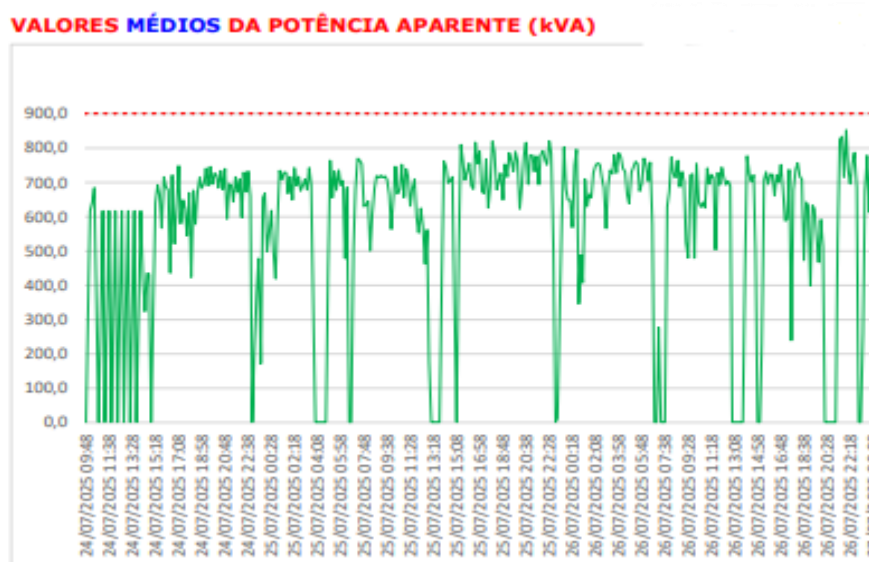
Fonte: Dados Internos da Empresa (2025).

Figura 10: Valores médios de potência ativa no Trafo 01 da SE 02.



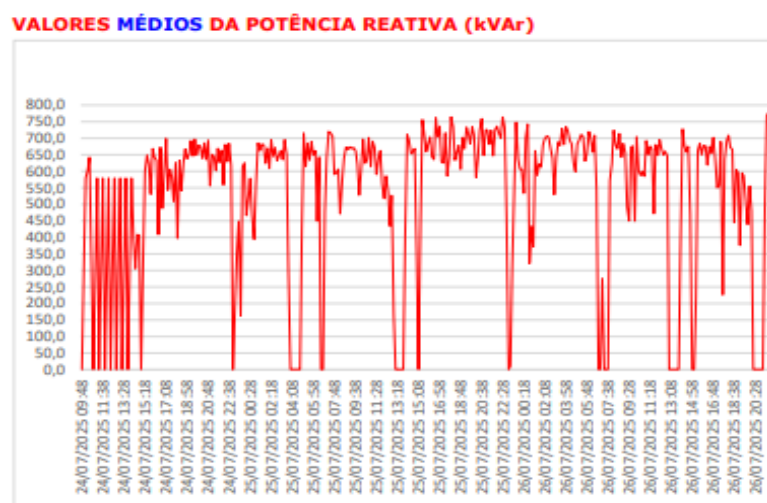
Fonte: Dados Internos da Empresa (2025).

Figura 11: Valores médios de potência aparente no Trafo 01 da SE 02.



Fonte: Dados Internos da Empresa (2025).

Figura 12: Valores médios de potência reativa no Trafo 01 da SE 02.



Fonte: Dados Internos da Empresa (2025).

Seguindo estes primeiros exemplos a Tabela 06 a seguir foi montada sintetizando o resultado das medições, demais tabelas e medições se encontram em anexo, assim sendo se pode determinar como sendo os transformadores com o pior desempenho de fator de potência os transformadores 01, 02 e 04 da subestação 02, e os transformadores 01 e 04 da subestação 04, também se nota que todos os transformadores tem um baixo fator de demanda, ou seja, baixo carregamento que pode ser uma das causas do baixo fator de potência ou um agravante.

Tabela 06: Medições dos Transformadores.

TRAFO	POT. NOMINAL [kVA]	P MÁX [kW]	Q MÁX [kVar]	S MÁX [kVA]	FATOR DE DEMANDA	FP MÉDIO
01 SE 01	75	16,89	3,42	17,20	22,93%	0,99
01 SE 02	2000	307,95	794,86	852,42	42,62%	0,43
02 SE 02	2000	606,65	345,37	697,82	34,89%	0,86
03 SE 02	2000	1118,45	564,73	1194,12	59,71%	0,94
04 SE 02	2000	877,21	946,54	1263,49	63,17%	0,76
01 SE 03	750	237,85	67,05	245,81	32,77%	0,96
01 SE 04	1500	755,36	392,96	840,22	56,01%	0,87
02 SE 04	1000	333,82	158,78	369,59	36,96%	0,98
03 SE 04	2000	473,67	235,54	527,27	26,36%	0,88

Fonte: Autoria Própria (2025).

5. PROPOSTA DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Neste capítulo serão abordadas todas as não conformidades encontradas e as propostas de correção para cada uma delas.

A principal não conformidade encontrada no transformador 01 da subestação 01, foi o desequilíbrio entre fases de 38,51% e a recomendação de balancear as fases do transformador afim de eliminar o desequilíbrio de corrente.

No transformador 01 da subestação 02, foi detectado o menor fator de potência da fábrica, com um valor de 0,43, além de picos de corrente que ultrapassam o valor nominal do transformador o superaquecendo, como ação imediata é recomendado o acompanhamento da temperatura do transformador com análises termográficas para garantir sua integridade.

Para calcular o valor para o banco de capacitores para esse transformador, em kVAr, é usada a equação (5), utilizando valores de potência ativa e fator de potência extraídos de um ponto dos gráficos das Figuras 08 e 10 como no exemplo a seguir:

$$Q_c = P * (\tan \varphi - \tan \varphi_d)$$

$$Q_c = 300 * (\tan(\cos^{-1} 0,36) - \tan(\cos^{-1} 0,95))$$

$$Q_c = 678,855 \text{ kVAr}$$

Afim de corrigir o baixo fator de potência foi recomendado pela empresa terceirizada, caso optado pela direção da fábrica a correção do fator de potência nesse transformador, a instalação de um banco de capacitores automático de 700 kVAr que possibilitaria a correção do fator de potência para 0,95 e reduziria o carregamento máximo do transformador de 852,42 kVA para 324,15 kVA, reduzindo as perdas no transformador.

Com base nessa análise e nas recomendações da empresa responsável pelas medições foi construída uma tabela sintetizando essas informações para todos os transformadores com não conformidades registradas.

Tabela 07: Proposta de correção do fator de potência individual dos trafos.

TRAFO	FP ATUAL	FP NOVO	CARGA MÁX ANTES [kVA]	CARGA MÁX NOVA [kVA]	REDUÇÃO DA CARGA MÁX	POT. BANCO [kVar]
01 SE 02	0,43	0,95	852,42	324,15	62%	700
02 SE 02	0,86	0,95	697,82	638,58	8%	200
04 SE 02	0,76	0,95	1263,49	923,38	27%	700
01 SE 04	0,87	0,95	840,22	795,11	5%	250
03 SE 04	0,88	0,95	527,27	498,6	5%	120

Fonte: Autoria Própria (2025).

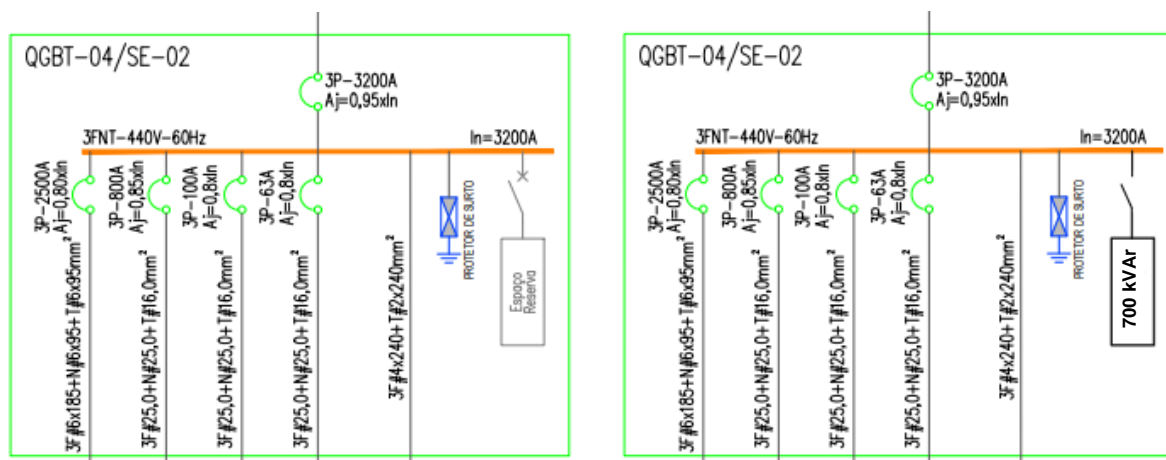
Uma vez conhecidos os componentes principais de um banco de capacitores, foi possível realizar o levantamento do preço de cada material, cotados em fornecedores da região onde se localiza a empresa. A Tabela 08 representa o valor total para confecção dos bancos de capacitores necessários, este valor foi considerado como custo inicial estimado para as análises econômicas, e a figura 13 um exemplo de como ficaria a instalação de um dos bancos.

Tabela 08: Relação de Materiais.

Item	Descrição	Qde.	Unid.	Valor Unitário	Valor Total
1	Célula capacitiva trifásica 380V 50kvar	40	Peças	R\$ 1.629,50	R\$ 65.180,00
2	Disjuntor caixa moldada 1600A 380V	2	Peças	R\$ 18.051,00	R\$ 36.102,00
3	Disjuntor caixa moldada 500A 380V	1	Peças	R\$ 1.839,10	R\$ 1.839,10
4	Disjuntor caixa moldada 400A 380V	1	Peças	R\$ 1.600,00	R\$ 1.600,00
5	Disjuntor caixa moldada 250A 380V	1	Peças	R\$ 288,90	R\$ 288,90
6	Contator 1000A 380V	2	Peças	R\$ 21.631,05	R\$ 43.262,10
7	Contator 500A 380V	2	Peças	R\$ 3.211,90	R\$ 6.423,80
8	Contator 250A 380V	1	Peças	R\$ 1.842,60	R\$ 1.842,60
9	Painel modular	5	Peças	R\$ 3.000,00	R\$ 15.000,00
10	Barramento de cobre	5	m	R\$ 100,00	R\$ 500,00
11	Trilho DIN	8	m	R\$ 10,00	R\$ 80,00
12	Diversos (Cabeamento, terminais, braçadeiras etc)	1	Unidade	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00
13	Mão de Obra	1	Unidade	R\$ 30.000,00	R\$ 30.000,00
14	Projeto Elétrico	1	Unidade	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00
Total					R\$ 227.118,50

Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 13: Antes e depois do diagrama unifilar do Trafo 04 da SE04.



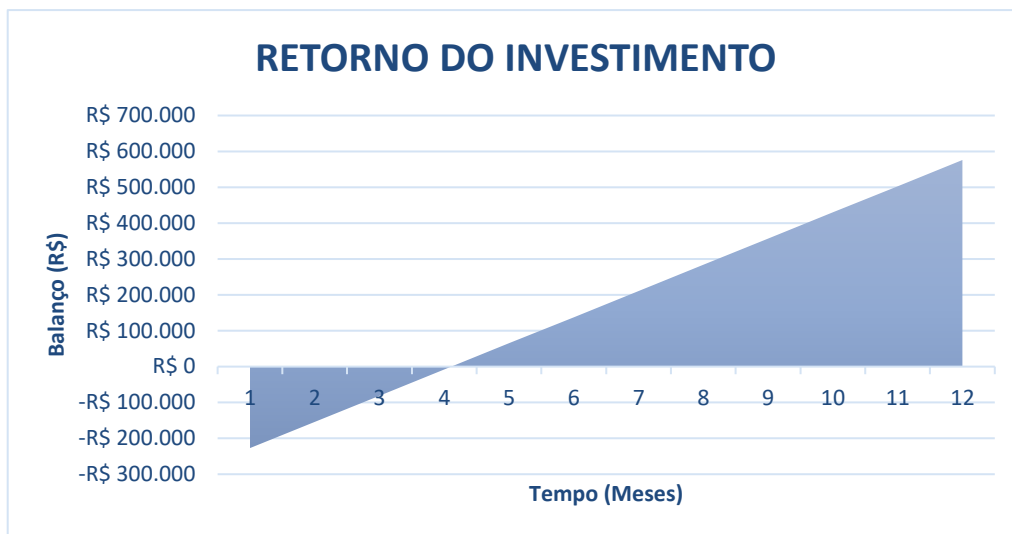
Fonte: Dados Internos da Empresa (2025).

Considerando o custo total da multa do ano de 2024 vista na Tabela 03 de R\$876.051,20, sendo então o custo mensal da multa de R\$ 73.004,27, considerando o custo do investimento inicial de R\$ 217.118,50, podemos calcular o tempo de retorno do investimento de acordo com a Equação (8):

$$\text{Tempo de Retorno de Investimento} = \frac{\text{R\$ } 227.118,50}{\text{R\$ } 73.004,27} \cong 3,11 \text{ meses}$$

Com essa estratégia a empresa reduziria as perdas nos transformadores reduzindo a carga máxima dos transformadores, e economizaria mais de 800 mil reais com reativos, como levantado anteriormente na fatura de energia do ano de 2024, reduzindo um impacto de até 20% do custo energia, com um investimento com tempo de retorno de aproximadamente 3 meses, como visto na Figura 14, e um potencial de economizar mais de 3.9 milhões de reais em 5 anos.

Figura 14: Gráfico de Retorno do Investimento.



Fonte: Autoria Própria (2025).

4. CONCLUSÃO

A partir do estudo desenvolvido, constatou-se que a correção do fator de potência representa uma medida fundamental para a eficiência energética e a redução de custos operacionais em instalações industriais. As análises realizadas evidenciaram que a indústria estudada apresentava, antes da correção, baixos fatores de potência em diversos transformadores, refletindo diretamente em penalidades financeiras significativas impostas pela concessionária de energia, que chegaram a representar até 20% do valor total da fatura anual.

O levantamento e o tratamento dos dados permitiram compreender que o baixo fator de potência estava associado, principalmente, ao baixo carregamento dos transformadores e à predominância de cargas indutivas no sistema elétrico. Essa condição resultou em elevados níveis de energia reativa circulando pela rede, provocando perdas adicionais e o subaproveitamento da capacidade instalada dos transformadores.

Com a proposta de correção utilizando bancos de capacitores automáticos, foi possível projetar a melhoria do fator de potência para valores próximos de 0,95, conforme exigido pela ANEEL. Essa correção resultaria na redução do carregamento dos transformadores, no aumento de sua vida útil e, principalmente, na eliminação das multas por energia reativa excedente, garantindo uma economia estimada de mais de R\$ 800 mil por ano e um retorno do investimento inferior a seis meses.

Mas vale ressaltar que, um rearranjo na distribuição das cargas de forma a melhor distribuir o fator de demanda dos transformadores seria uma maneira, talvez viável, de corrigir o problema do baixo fator de potência da empresa em questão, sendo então um ponto de um possível futuro estudo sobre a viabilidade técnica e econômica do redimensionamento e readequação das subestações da fábrica.

Além dos ganhos econômicos diretos, a correção do fator de potência contribui para a estabilidade do sistema elétrico, reduzindo perdas e possibilitando a expansão da carga instalada sem a necessidade de investimentos adicionais em infraestrutura. Dessa forma, este estudo demonstrou que a adoção de medidas de correção do fator de potência, representa uma estratégia eficiente, sustentável e economicamente viável para a redução dos custos operacionais do setor industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MONTEIRO, Paulo Roberto Duailibe. *Capacitores: instalação e correção do fator de potência.* Relatório técnico, Universidade Federal Fluminense, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/346060871_CAPACITORES_Instalacao_e_Correcao_do_Fator_de_Potencia_2020>. Acesso em: 19 ago. 2025.

ANDRADE, Matheus César Dornelas. Correção de fator de potência. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, ano 3, ed. 9, v. 6, p. 75–83, set. 2018. ISSN 2448-0959. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/fator-de-potencia?#artigocientifico>>. Acesso em: 20 ago. 2025.

DAYRELL, Gustavo Paulino; FREITAS, Adriano Alves Arantes; NASCIMENTO, Cleber Lima; CARVALHO, Aline Aparecida Rodrigues de. Correção do fator de potência através de utilização de bancos de capacitores. In: **ENGENHARIAS EM FOCO**, v. 4, p. 129–139, 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/366515640_CORRECAO_DO_FATOR_D_E_POTENCIA_ATRAVES_DE_UTILIZACAO_DE_BANCOS_DE_CAPACITORES>. Acesso em: 20 ago. 2025.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST.* Módulo 8: Qualidade da Energia Elétrica. Brasília: ANEEL, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/prodist>>. Acesso em: 21 ago. 2025.

MONTEIRO, Paulo Roberto Duailibe. *Capacitores: instalação e correção do fator de potência.* Relatório técnico, Universidade Federal Fluminense, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/346060871_CAPACITORES_Instalacao_e_Correcao_do_Fator_de_Potencia_2020>. Acesso em: 26 ago. 2025.

ABB. Controlador de fator de potência: o que é e para que serve? *Loja ABB Brasil.* Disponível em: <<https://loja.br.abb.com/blog/post/controlador-de-fator-de-potencia-o-que-e-para-que-serve?srsltid=AfmBOoqUldXdqSNDW0WDxl8YdfIxZXpj-YYrajKFwMdeQOhBN0u5wndj>>. Acesso em: 28 ago. 2025.

SUCESSO NO CAMPO. *Tecnologia faz agroindústria reduzir o consumo e se livrar das multas de energia elétrica.* Disponível em: <https://sucessonocampo.com.br/tecnologia-faz-agroindustria-reduzir-o-consumo-e-se-livrar-das-multas-de-energia-eletrica>. Acesso em: 02 set. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. *Resolução Normativa n.º 1.000, de 7 de dezembro de 2021: estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica.* Diário Oficial da União: Brasília, DF, 8 dez. 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html>. Acesso em: 29 nov. 2025.

ANEXO A – Tabelas de Medições dos Transformadores

Trafo 01 da subestação 01

POTÊNCIAS	VALORES MEDIDOS			
	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]	FP
Mínimo	7,84	1,20	7,94	0,97
Médio	11,47	1,79	11,62	0,99
Máximo	16,89	3,42	17,20	1,00

Trafo 01 da subestação 02

POTÊNCIAS	VALORES MEDIDOS			
	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]	FP
Mínimo	0,53	0,19	0,56	0,20
Médio	175,39	461,36	493,67	0,43
Máximo	307,95	794,86	852,42	0,94

Trafo 02 da subestação 02

POTÊNCIAS	VALORES MEDIDOS			
	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]	FP
Mínimo	0,39	0,38	0,56	0,37
Médio	293,36	181,90	346,19	0,86
Máximo	606,65	345,37	697,82	1,00

Trafo 03 da subestação 02

POTÊNCIAS	VALORES MEDIDOS			
	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]	FP
Mínimo	51,90	11,27	53,11	0,87
Médio	856,14	299,08	907,96	0,94
Máximo	1.118,45	564,73	1.194,12	0,99

Trafo 04 da subestação 02

POTÊNCIAS	VALORES MEDIDOS			
	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]	FP
Mínimo	55,95	7,38	56,43	0,56
Médio	461,66	435,44	638,28	0,76
Máximo	877,21	946,54	1.263,49	0,99

Trafo 01 da subestação 03

POTÊNCIAS	VALORES MEDIDOS			
	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]	FP
Mínimo	135,39	23,34	137,39	0,93
Médio	172,88	50,98	180,29	0,96
Máximo	237,85	67,05	245,81	0,99

Trafo 01 da subestação 04

POTÊNCIAS	VALORES MEDIDOS			
	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]	FP
Mínimo	330,47	227,82	401,39	0,81
Médio	537,17	302,49	616,81	0,87
Máximo	755,36	392,96	840,22	0,90

Trafo 02 da subestação 04

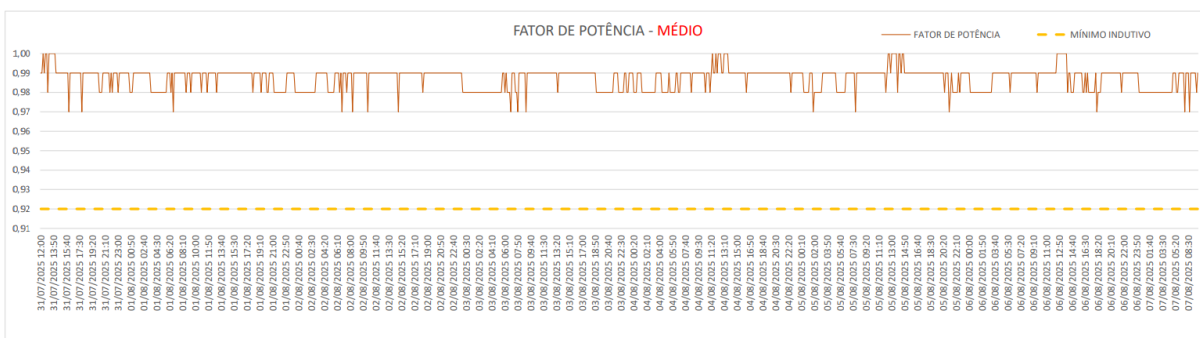
POTÊNCIAS	VALORES MEDIDOS			
	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]	FP
Mínimo	100,77	34,18	111,09	0,85
Médio	205,45	49,76	211,70	0,98
Máximo	333,82	158,78	369,59	1,00

Trafo 03 da subestação 04

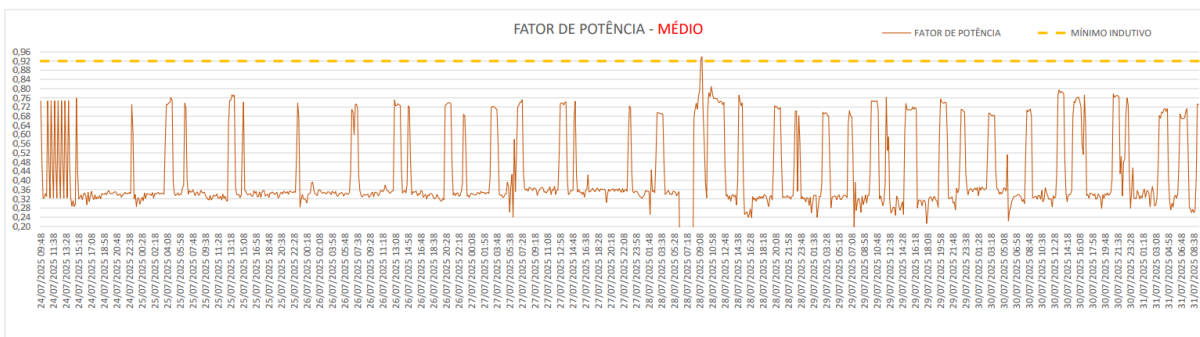
POTÊNCIAS	VALORES MEDIDOS			
	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]	FP
Mínimo	189,33	129,98	232,40	0,81
Médio	348,42	188,92	396,47	0,88
Máximo	473,67	235,54	527,27	0,92

ANEXO B – Gráficos de Fator de Potência Medidos

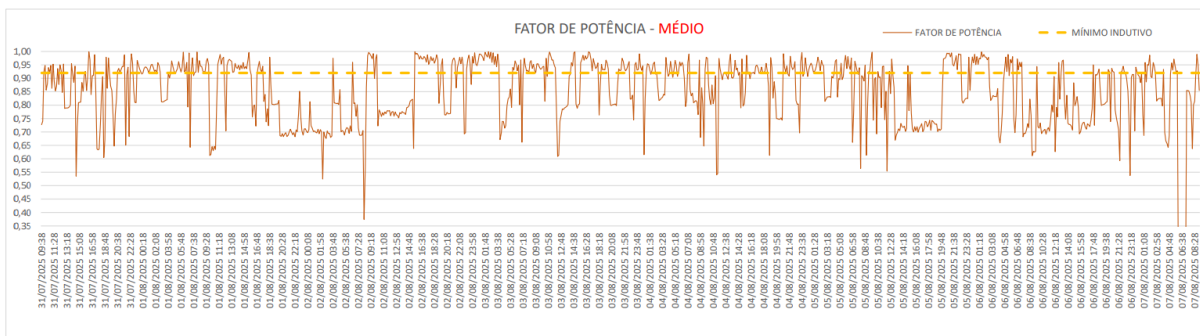
Trafo 01 da Subestação 01



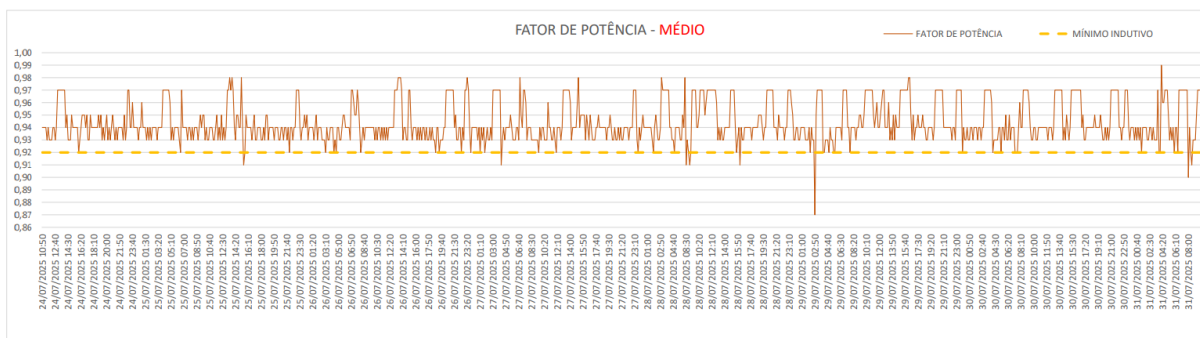
Trafo 01 da Subestação 02



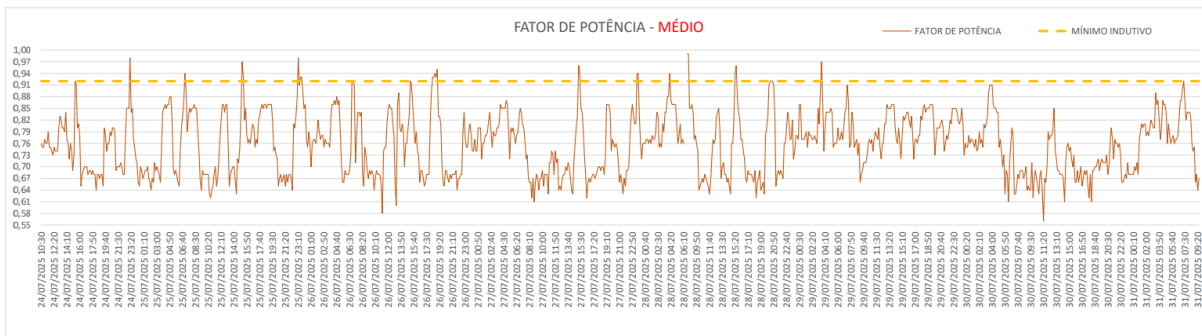
Trafo 02 da Subestação 02



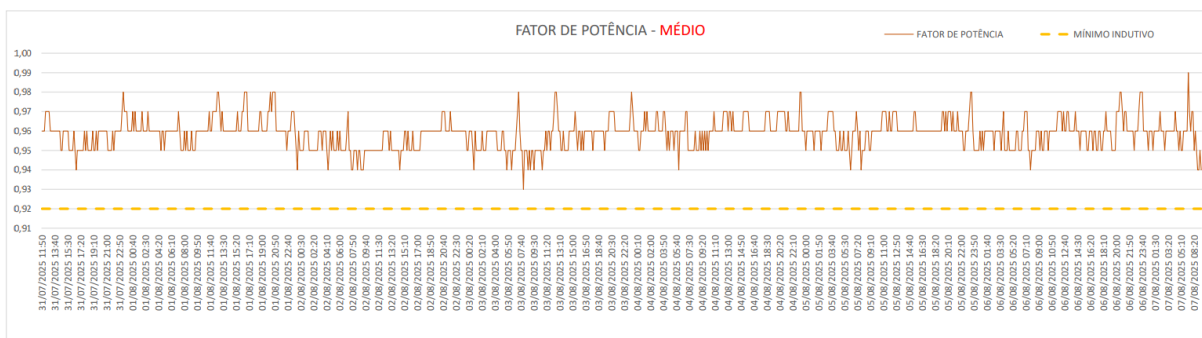
Trafo 03 da Subestação 02



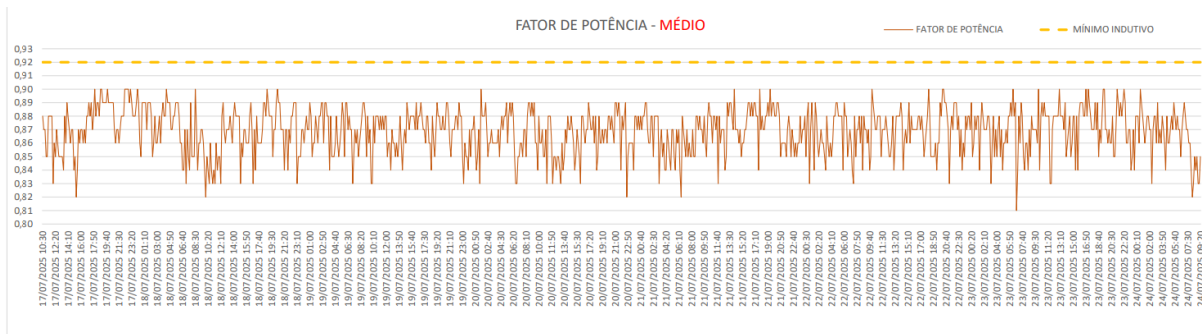
Trafo 04 da Subestação 02



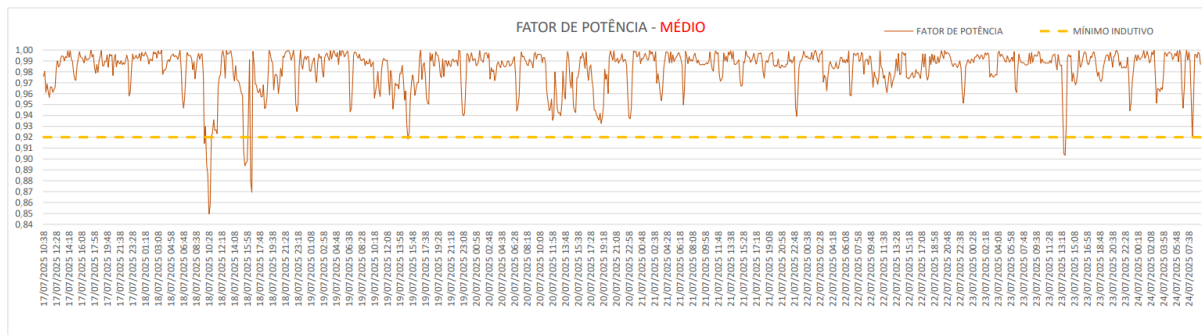
Trafo 01 da Subestação 03



Trafo 01 da Subestação 04



Trafo 02 da Subestação 04



Trafo 03 da Subestação 04

