

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA  
CÂMPUS ITAJAÍ

MARCELLO ANTUNES VANZ

**PROJETO DE INSTALAÇÃO ELÉTRICA PARA SCANNER PORTUÁRIO:  
MITIGAÇÃO DE FALHAS E SOLUÇÕES PREVENTIVAS**

ITAJAÍ  
2025

Marcello Antunes Vanz

Projeto de instalação elétrica para scanner portuário:  
Mitigação de falhas e soluções preventivas

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de engenharia elétrica do Instituto Federal de Santa Catarina, para obtenção do título de bacharel em 2025.

Orientadora: Prof. Dr. Saimon Miranda Fagundes

ITAJAÍ  
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca do IFSC.

Antunes Vanz, Marcello

Projeto de Instalação Elétrica para Scanner Portuário:  
Mitigação de Falhas e Soluções Preventivas / Marcello  
Antunes Vanz ; orientador, Saimon Miranda Fagundes, 2025.  
72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Instituto  
Federal de Santa Catarina, Campus Itajaí, Graduação em  
Engenharia elétrica, Itajaí, 2025.

Inclui referências.

1. Engenharia elétrica. 2. Qualidade de energia  
elétrica. 3. Instalações elétricas. 4. Scanner portuário.  
I. Miranda Fagundes, Saimon. II. Instituto Federal de  
Santa Catarina. Graduação em Engenharia elétrica. III.  
Título.



INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CÂMPUS ITAJAÍ  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**ATA DA BANCA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA DO INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA – CÂMPUS ITAJAÍ Nº \_\_\_**

Aos 29 dias do mês de setembro de 2025, às 17h45min, o(a) estudante MARCELLO ANTUNES VANZ apresentou o trabalho de conclusão de curso para julgamento à banca examinadora constituída pelos seguintes membros: Prof(a) Saimon Miranda Fagundes (orientador/presidente da banca/IFSC), Prof(a) Paulo Cesar da Silva (IFSC) e Prof(a) Adilson Pacheco Bortoluzzi (IFSC).

A sessão pública de defesa foi aberta pelo presidente da banca que apresentou a banca examinadora e o título do trabalho como sendo QUEIMA RECORRENTE DE PLACAS EM SCANNER PORTUÁRIO: DIAGNÓSTICO ELÉTRICO E SOLUÇÕES PREVENTIVAS. Na sequência, o(a) aluno teve 30 minutos para a exposição do trabalho e cada membro da banca fez a arguição após a apresentação do mesmo. Finalmente, foi aberto um espaço aos presentes para perguntas/comentários. Ouvidas as explicações do estudante, a banca examinadora, reunida em caráter sigiloso, para proceder à avaliação final, deliberou pela nota 8 com ( ) sem (X) restrições, as quais serão encaminhadas pelos membros da banca, tendo os pontos principais citados na folha de requisitos (anexo a ATA).

Foi dada ciência ao (à) estudante que a versão final do trabalho deverá ser entregue em até 30 dias corridos a partir da data da defesa, com as devidas alterações sugeridas pela banca, após aval do orientador. Nada mais havendo a tratar, a sessão foi encerrada às 18h45 min, dela sendo lavrada a presente ata, que uma vez aprovada, foi assinada por todos os membros da banca examinadora e pelo(a) estudante.

**Saimon Miranda Fagundes**  
Prof(a). Orientador(a)

**Paulo Cesar da Silva**  
Prof(a). Avaliador

**Adilson Pacheco Bortoluzzi**  
Prof(a). Avaliador

**Marcello Antunes Vanz**  
Aluno(a)

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma investigação e um projeto de instalação elétrica para um scanner de fiscalização de contêineres em um terminal portuário, visando amenizar problemas recorrentes de queima de placas eletrônicas e garantir a continuidade operacional. A necessidade do estudo surgiu da observação de falhas elétricas que impactavam a disponibilidade do equipamento e geravam prejuízos. Para tanto, foram realizadas medições de qualidade de energia no sistema elétrico do scanner antigo utilizando analisadores Fluke 1744. Embora não tenha sido possível identificar uma causa única e específica para as falhas no equipamento existente, os dados coletados foram cruciais para o dimensionamento da nova infraestrutura elétrica para um scanner substituto. O projeto inclui a realocação do equipamento, a seleção de condutores baseada em critérios normativos como capacidade de condução e queda de tensão, a concepção de infraestrutura com eletrocalhas e eletrodutos, e a implementação de soluções preventivas como um no-Break com sistema de bypass e uma malha de aterramento robusta. Adicionalmente, o circuito antigo foi adaptado para alimentar contêineres refrigerados, com ampliação de capacidade e controle de demanda. O objetivo é assegurar a segurança, confiabilidade e eficiência do sistema em um ambiente portuário em expansão.

Palavras-chave: Qualidade de Energia Elétrica; Scanner Portuário; Análise de Medição; Instalações Elétricas.

## **ABSTRACT**

This work presents an investigation and an electrical installation project for a container inspection scanner at a port terminal, aiming to mitigate recurring issues of electronic board failures and ensure operational continuity. The need for the study arose from the observation of electrical faults that impacted equipment availability and generated financial losses. For this purpose, power quality measurements were performed on the old scanner's electrical system using Fluke 1744 analyzers. Although it was not possible to identify a single, specific cause for the failures in the existing equipment, the collected data was crucial for dimensioning the new electrical infrastructure for a replacement scanner. The project includes the relocation of the equipment, the selection of conductors based on normative criteria such as current-carrying capacity and voltage drop, the design of infrastructure with cable trays and conduits, and the implementation of preventive solutions such as a No-Break with a bypass system and a robust grounding mesh. Additionally, the old circuit was adapted to power refrigerated containers, with increased capacity and demand control. The objective is to ensure the safety, reliability, and efficiency of the system in an expanding port environment.

**Keywords:** Power Quality; Port Scanner; Measurement Analysis; Electrical Installations.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	10
1.2 OBJETIVO GERAL.....	11
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
<b>2 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....</b>	<b>12</b>
2.1 QUALIDADE DE ENERGIA.....	12
2.2 DISTÚRBIOS DE TENSÃO E CORRENTE.....	12
<b>2.2.1 Afundamentos de tensão (SAGs).....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.2 Elevações de tensão (SWELLS).....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.3 Distorção harmônica.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.4 Transientes (Surtos).....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.5 Desbalanceamento de fases.....</b>	<b>14</b>
2.3 DISTÚRBIOS ELÉTRICOS E MECANISMOS DE FALHA.....	14
<b>2.3.1 Curto-circuito.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3.2 Sobrecarga elétrica.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3.3 Problemas de refrigeração.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3.4 Vida útil dos componentes.....</b>	<b>15</b>
2.4 METODOLOGIAS DE DIAGNÓSTICO: ANALISADORES DE ENERGIA.....	15
2.5 SOLUÇÕES E MEDIDAS PREVENTIVAS EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS.....	16
2.6 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO.....	16
2.7 SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO ININTERRUPTA (NO-BREAKS/ UPS).....	17
2.8 SISTEMAS DE ATERRAMENTO.....	17
2.9 MEDIDAS PREVENTIVAS E BOAS PRÁTICAS.....	17
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>18</b>
3.1 ANÁLISE DIAGNÓSTICA DA INSTALAÇÃO EXISTENTE.....	19
3.2 PROJETO E DIMENSIONAMENTO DA NOVA INSTALAÇÃO ELÉTRICA.....	19
<b>4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>20</b>
4.1 MEDIÇÕES.....	20
<b>4.1.1 Medições do quadro geral no período 09/09/2024 a 13/09/2024.....</b>	<b>26</b>
<b>4.1.2 Medições do quadro geral no período 09/10/2024 a 18/10/2024.....</b>	<b>27</b>
<b>4.1.3 Medições do quadro geral no período 24/10/2024 a 01/11/2024.....</b>	<b>28</b>
<b>4.1.4 Medições do quadro geral no período 05/11/2024 a 14/11/2024.....</b>	<b>30</b>
<b>4.1.5 Medições do quadro geral no período 19/11/2024 a 28/11/2024.....</b>	<b>31</b>
<b>4.1.6 Medições do circuito do scanner no período 09/09/2024 a 13/09/2024.....</b>	<b>32</b>
<b>4.1.7 Medições do circuito do scanner no período 09/10/2024 a 18/10/2024.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1.8 Medições do circuito do scanner no período 24/10/2024 a 01/11/2024.....</b>	<b>35</b>
<b>4.1.9 Medições do circuito do scanner no período 05/11/2024 a 14/11/2024.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1.10 Medições do circuito do scanner no período 19/11/2024 a 28/11/2024.....</b>	<b>37</b>
4.2 POTÊNCIAS DO QUADRO DO ANTIGO SCANNER.....	39

4.3 PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE NOVO SCANNER.....	40
<b>4.3.1 Condutores.....</b>	<b>42</b>
<b>4.3.2 Dimensionamento de condutores.....</b>	<b>42</b>
<b>4.3.2.1 Dimensionamento de condutores.....</b>	<b>43</b>
<b>4.3.2.2 Determinação do método de instalação.....</b>	<b>44</b>
<b>4.3.2.3 Capacidade de condução de corrente.....</b>	<b>44</b>
<b>4.3.2.4 Cálculo da corrente de projeto corrigida.....</b>	<b>45</b>
<b>4.3.3 Equação de queda de tensão.....</b>	<b>45</b>
<b>4.3.5 Infraestrutura para os cabos.....</b>	<b>51</b>
<i>4.3.5.1 Cabo de 70 mm<sup>2</sup>.....</i>	<i>51</i>
<i>4.3.5.2 Cabo de 35 mm<sup>2</sup>.....</i>	<i>51</i>
<b>4.3.5.2 Área total ocupada pelos cabos é de:.....</b>	<b>51</b>
<b>4.3.6 Partes internas das instalações do scanner.....</b>	<b>53</b>
<b>4.3.7 Soluções para as queimas das placas.....</b>	<b>53</b>
4.4 QUADRO ELÉTRICO ALIMENTAÇÃO SCANNER.....	54
4.5 QUADRO ELÉTRICO DAS TOMADAS DE CONTÊINERES REEFER.....	54
4.6 ORÇAMENTO.....	56
4.7 ESTRUTURAS EXECUTADAS.....	58
4.8 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	68
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>70</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>72</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Uma determinada empresa foi contratada para atender a uma demanda de um terminal portuário, que enfrentava problemas relacionados à queima de placas eletrônicas em seu equipamento de inspeção de contêineres. O mau funcionamento desse equipamento resultava em atrasos nas operações e em prejuízos operacionais significativos.

O scanner de fiscalização de contêineres, elemento fundamental para a segurança e a eficiência das atividades portuárias, apresentou falhas recorrentes, sobretudo associadas à queima de seus componentes eletrônicos. Tais falhas comprometeram a disponibilidade do equipamento e acarretaram elevados custos de manutenção, em função da necessidade constante de reparos e substituições.

Adicionalmente, foi constatado que o contêiner que abriga o scanner não atendia às normas técnicas e regulamentares vigentes, tornando necessária sua substituição por uma unidade em conformidade com os requisitos estabelecidos. Nesse sentido, o projeto de substituição contempla a realocação do novo equipamento para uma área previamente definida, com o reaproveitamento de parte da infraestrutura existente, visando à otimização de recursos e à redução de custos.

Relatos de operadores e técnicos indicaram que as falhas do equipamento poderiam estar relacionadas a deficiências na alimentação elétrica. Observou-se que as placas eletrônicas são suscetíveis a eventos externos da rede elétrica, como quedas ou afundamentos de tensão, que ocasionam a queima de componentes. Assim, o projeto da nova instalação prevê a implementação de medidas de proteção elétrica, de forma a mitigar essas vulnerabilidades e garantir maior confiabilidade no fornecimento de energia.

A eficiência e a confiabilidade dos sistemas de fiscalização portuária são fatores essenciais para o bom desempenho das operações comerciais internacionais. Interrupções nos sistemas de inspeção acarretam atrasos, aumentam os custos operacionais e expõem as cargas a riscos de segurança e integridade. Dessa maneira, o planejamento criterioso da nova instalação, aliado à adequação às normas regulamentares, constitui um passo fundamental para assegurar a continuidade e a eficiência das operações portuárias.

Nesse contexto, a realocação do scanner, a conformidade com as normas técnicas, a identificação e correção das causas das falhas anteriores, bem como o

aproveitamento estratégico da infraestrutura existente, são ações determinantes para o sucesso do projeto. A implementação dessas medidas contribuirá para o desenvolvimento de soluções preventivas, garantindo a operação contínua e eficiente do equipamento, além da redução dos riscos e dos custos associados a falhas técnicas.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A realização deste estudo justifica-se pela necessidade premente de desenvolver uma nova infraestrutura elétrica para um scanner de fiscalização de contêineres em um terminal portuário. Embora a motivação inicial tenha sido a análise de falhas recorrentes e a queima de placas eletrônicas no equipamento anterior, o escopo do trabalho evoluiu para o projeto completo da instalação elétrica de um novo scanner. Este equipamento é vital para a segurança e eficiência das operações portuárias, atuando como um instrumento essencial no controle alfandegário e na segurança do comércio internacional. As constantes avarias no sistema anterior elevavam significativamente os custos operacionais de manutenção e comprometiam a eficácia da fiscalização de mercadorias.

A relevância prática deste trabalho reside diretamente na concepção de uma solução de engenharia elétrica robusta e preventiva. O scanner permite a identificação do conteúdo de contêineres sem expor os funcionários a riscos de contaminação ou explosão (Filho, 2006), sublinhando a imprescindibilidade de seu funcionamento adequado. Além disso, a inoperância desse tipo de equipamento pode gerar atrasos significativos nas operações portuárias, bem como riscos à segurança e integridade das cargas. Estudos sobre responsabilidade civil na atividade portuária demonstram que a ineficiência na fiscalização pode acarretar substanciais prejuízos econômicos e ameaçar a estabilidade das operações comerciais internacionais (Bohrer, 2013). Ao focar no projeto da nova instalação, o trabalho visa mitigar proativamente esses riscos, assegurando uma operação contínua e confiável.

No âmbito teórico, esta pesquisa contribui ao detalhar o processo de dimensionamento e a aplicação de soluções técnicas avançadas (como sistemas de qualidade de energia e infraestrutura otimizada) em um contexto prático. As informações obtidas no diagnóstico do equipamento antigo, embora não tenham

apontado uma causa única, forneceram dados reais que embasaram as escolhas de projeto, demonstrando como a análise de problemas preexistentes pode direcionar o desenvolvimento de soluções mais eficientes e duradouras.

Portanto, esta pesquisa não se limita a analisar um problema; ela se concentra na proposição e no detalhamento de uma solução de engenharia elétrica. Suas contribuições, tanto teóricas quanto práticas, residem em apresentar um projeto que aprimora a eficiência, a segurança e a confiabilidade de sistemas de fiscalização em operações portuárias de maneira mais abrangente.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Identificar as possíveis causas das falhas recorrentes no scanner de fiscalização de contêineres e propor soluções preventivas para garantir a operação contínua e eficiente do equipamento, minimizando riscos e custos associados.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar as causas técnicas das falhas do scanner existente, com base na análise do histórico de queima de placas e em medições de qualidade de energia;
- Elaborar o projeto e o dimensionamento da nova instalação elétrica, fundamentado nos dados de consumo medidos e nas normas técnicas vigentes;
- Propor a implementação de soluções de engenharia para mitigar vulnerabilidades elétricas, tais como a instalação de sistemas de proteção e melhorias na infraestrutura;
- Acompanhar a execução do projeto da nova instalação do scanner, garantindo a conformidade com as especificações técnicas;
- Avaliar a viabilidade técnica e econômica das soluções propostas, visando a implementação pela empresa contratante.

## **2 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO**

### **2.1 QUALIDADE DE ENERGIA**

A Qualidade de Energia Elétrica é um fator determinante para a operação eficiente e confiável de qualquer sistema elétrico, tornando-se ainda mais crítica em instalações que abrigam equipamentos eletrônicos sensíveis, como scanners de fiscalização de contêineres. A degradação da QEE pode se manifestar em diversos distúrbios que, mesmo momentâneos, comprometem a integridade e a funcionalidade de componentes eletrônicos, resultando em falhas operacionais e custos elevados de manutenção.

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por meio do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica), estabelece as diretrizes e os indicadores para a avaliação da qualidade do fornecimento de energia elétrica pelas distribuidoras. O Módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2018) define os limites e as condições para os principais distúrbios que afetam o sistema, servindo como base para identificar e mitigar problemas de QEE.

### **2.2 DISTÚRBIOS DE TENSÃO E CORRENTE**

Os distúrbios elétricos são variações no comportamento da tensão, corrente ou frequência que se desviam das condições ideais de fornecimento. Para equipamentos com eletrônica embarcada, como as placas de controle de um scanner, a sensibilidade a esses distúrbios é alta, podendo causar desde interrupções momentâneas de funcionamento até danos irreversíveis (Alexander; Sadiku, 2016).

#### **2.2.1 Afundamentos de tensão (SAGs)**

Caracterizam-se por reduções temporárias da tensão eficaz, com duração variando de meio ciclo a 1 minuto (ANEEL, 2018). Esses eventos são frequentemente causados por descargas atmosféricas, falhas em proteções ou partidas de grandes motores, e são particularmente prejudiciais a sistemas eletrônicos sensíveis, como fontes de alimentação chaveadas e placas de controle

digitais. Podem causar falhas de software, desligamentos inesperados e, em casos mais severos, a queima irreversível de componentes devido ao estresse térmico ou elétrico, o que se alinha com os problemas observados no scanner em questão.

### **2.2.2 Elevações de tensão (SWELLS)**

Representam aumentos temporários da tensão eficaz, com duração similar aos SAGs. Podem ser causadas por variações na referência de terra, chaveamento de bancos de capacitores ou interrupções abruptas de grandes cargas indutivas. Embora menos frequentes, podem levar à saturação de transformadores e danos a equipamentos que não possuem proteção adequada contra sobretensão (ANEEL, 2018).

### **2.2.3 Distorção harmônica**

É um distúrbio complexo caracterizado pela presença de correntes e tensões com frequências múltiplas da fundamental (60 Hz no Brasil) na rede elétrica. Essas harmônicas são geradas principalmente por cargas não lineares, como retificadores, inversores de frequência, fontes de alimentação chaveadas de computadores e outros equipamentos eletrônicos (Gross, 2017). No contexto de scanners e instalações industriais, a distorção harmônica pode causar superaquecimento em cabos e transformadores, ressonância em sistemas elétricos, operação incorreta de dispositivos de proteção e, crucialmente, danos a componentes eletrônicos sensíveis, reduzindo a vida útil de capacitores e aumentando o estresse elétrico nas placas de controle.

### **2.2.4 Transientes (Surtos)**

São picos de tensão ou corrente de alta magnitude e curta duração. Embora frequentemente associados a descargas atmosféricas, os transientes também podem ser gerados por manobras em chaves, disjuntores, ou pelo chaveamento de grandes cargas indutivas dentro da própria instalação. Estes eventos representam uma ameaça significativa para componentes semicondutores e circuitos integrados,

podendo causar a ruptura de isolamentos e a queima imediata de placas eletrônicas (IEC, 2011).

### **2.2.5 Desbalanceamento de fases**

Refere-se à condição em que as tensões ou correntes entre as fases de um sistema trifásico não são iguais em magnitude ou não possuem o deslocamento angular ideal de 120 graus. Esse desequilíbrio pode levar a um aquecimento excessivo de motores, transformadores e condutores, além de afetar o desempenho de equipamentos sensíveis e contribuir para a redução da vida útil dos componentes (Gross, 2017).

## **2.3 DISTÚRBIOS ELÉTRICOS E MECANISMOS DE FALHA**

Além dos distúrbios de qualidade de energia, defeitos elétricos intrínsecos à instalação ou ao equipamento podem ser responsáveis por falhas. A compreensão desses defeitos é fundamental para o diagnóstico e a proposição de soluções eficazes (Alexander; Sadiku, 2016).

### **2.3.1 Curto-circuito**

Ocorre quando há uma conexão acidental de baixa resistência entre dois pontos de um circuito com diferença de potencial, ou entre um ponto energizado e o aterramento. Isso gera um fluxo excessivo de corrente que pode queimar componentes sensíveis, como transistores, diodos e circuitos integrados, além de representar riscos de incêndio e choque elétrico (IEEE, 2020).

### **2.3.2 Sobrecarga elétrica**

Caracteriza-se quando a demanda de corrente excede a capacidade nominal de um circuito ou componente. A sobrecarga leva ao superaquecimento, que pode degradar o isolamento dos condutores e danificar irreversivelmente equipamentos eletrônicos, especialmente aqueles sem proteção adequada (Gurgel, 2018).

### 2.3.3 Problemas de refrigeração

Embora não seja um defeito elétrico direto, a dissipação inadequada de calor em equipamentos eletrônicos pode acelerar a degradação de componentes, como capacitores e semicondutores, e levar à sua falha prematura. A operação em temperaturas elevadas, seja por ventilação insuficiente ou acúmulo de poeira, reduz drasticamente a vida útil dos componentes (Ashrae, 2019).

### 2.3.4 Vida útil dos componentes

Componentes eletrônicos possuem uma vida útil intrínseca, que pode ser encurtada por condições de operação adversas (excesso de calor, umidade, distúrbios elétricos frequentes). A falha de um componente ao final de sua vida útil pode comprometer o funcionamento de todo o circuito (Montgomery, 2017).

## 2.4 METODOLOGIAS DE DIAGNÓSTICO: ANALISADORES DE ENERGIA

Para identificar a causa raiz das falhas em equipamentos eletrônicos e avaliar a qualidade da energia elétrica, a utilização de Analisadores de Energia é indispensável. Esses equipamentos permitem o monitoramento e o registro de diversos parâmetros elétricos, oferecendo um diagnóstico preciso das condições da rede (Mendes et al., 2020).

Os analisadores de energia, como o Fluke 1744 utilizado neste trabalho, são capazes de medir e registrar continuamente:

- Tensão (RMS) e Corrente (RMS): Valores eficazes que indicam a magnitude da energia;
- Potência (Ativa, Reativa, Aparente) e Fator de Potência: Essenciais para avaliar a eficiência do consumo de energia;
- Eventos de Qualidade de Energia: Registro de afundamentos (SAGs), elevações (SWELLs) e interrupções momentâneas de tensão, com detalhes sobre magnitude e duração;
- Distorção Harmônica Total (THD) e Harmônicas Individuais: Medição do grau de distorção da forma de onda e a identificação das

componentes harmônicas presentes, cruciais para identificar cargas não lineares e seus efeitos.

A análise dos dados coletados por um analisador de energia, especialmente a correlação entre eventos de distúrbio e horários de falha de equipamentos, permite um diagnóstico embasado em dados concretos, guiando a proposição de soluções eficazes para a proteção de equipamentos sensíveis.

## 2.5 SOLUÇÕES E MEDIDAS PREVENTIVAS EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

A proteção adequada dos sistemas elétricos é crucial para garantir a segurança, a continuidade operacional e a eficiência, especialmente em ambientes industriais e portuários, onde a confiabilidade é fundamental (Abbas, 2018). A implementação de dispositivos de proteção e a adoção de medidas preventivas são essenciais para mitigar os impactos de distúrbios e defeitos elétricos.

## 2.6 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO

- Disjuntores e fusíveis: São dispositivos de proteção contra sobrecorrentes (sobrecargas e curtos-circuitos), interrompendo o circuito quando a corrente excede os limites seguros, protegendo condutores e equipamentos contra superaquecimento e danos (Gurgel, 2018);
- Dispositivos de proteção contra surtos (DPS): Essenciais para limitar sobretensões transitórias (surtos), desviando o excesso de energia para o aterramento e protegendo equipamentos eletrônicos sensíveis contra danos causados por descargas atmosféricas e manobras na rede (IEC, 2011);
- Transformadores de isolamento: Utilizados para isolar eletricamente os circuitos de entrada e saída, oferecendo proteção contra choques elétricos e suprimindo ruídos de modo comum. No entanto, é importante ressaltar que não são eficazes para regular a tensão ou proteger contra afundamentos (SAGs), sendo necessária a complementação com outros dispositivos para uma proteção completa.

## 2.7 SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO ININTERRUPTA (NO-BREAKS/ UPS)

Os Sistemas de Alimentação Ininterrupta (SAIs) ou No-Breaks (UPS - Uninterruptible Power Supply) são cruciais para equipamentos sensíveis, garantindo o fornecimento de energia contínuo e de qualidade. Existem diferentes topologias, sendo a online dupla conversão a mais indicada para cargas críticas (Mendes et al., 2020).

- No-Breaks Online Dupla Conversão: Este tipo de no-break converte a energia AC de entrada para DC, e então reconverte para AC, alimentando a carga continuamente. Essa dupla conversão garante o isolamento completo da rede elétrica, fornecendo uma forma de onda de tensão e frequência constantemente regulada e livre de distúrbios. Oferecem proteção contra praticamente todos os problemas de qualidade de energia, incluindo afundamentos (SAGs), elevações (SWELLS), interrupções, ruídos elétricos e distorção harmônica, tornando-os ideais para proteger placas eletrônicas de scanners e outros equipamentos de alta sensibilidade.

## 2.8 SISTEMAS DE ATERRAMENTO

Um sistema de aterramento eficiente é fundamental para a segurança e a confiabilidade de qualquer instalação elétrica, especialmente aquelas com equipamentos eletrônicos. O aterramento proporciona um caminho de baixa impedância para a terra para correntes de falta e surtos, protegendo pessoas contra choques elétricos e equipamentos contra danos (ABNT, 2004). Uma malha de aterramento robusta é essencial para dissipar correntes de surto causadas por descargas atmosféricas ou manobras, evitando que atinjam os componentes eletrônicos sensíveis.

## 2.9 MEDIDAS PREVENTIVAS E BOAS PRÁTICAS

Além dos dispositivos de proteção, a adoção de medidas preventivas e o seguimento de boas práticas de engenharia são cruciais para a longevidade e a eficiência dos sistemas elétricos (Abbas, 2018).

- **Manutenção regular:** A realização de manutenções preventivas e corretivas é fundamental para identificar e corrigir problemas antes que causem danos maiores. Isso inclui inspeções periódicas, limpeza de componentes e verificação de conexões;
- **Controle térmico:** Garantir uma ventilação adequada e limpeza periódica dos sistemas de refrigeração é vital para evitar o superaquecimento de componentes eletrônicos, prolongando sua vida útil (Ashrae, 2019).
- **Dimensionamento adequado de instalações:** O dimensionamento de cabos e dispositivos de proteção deve seguir rigorosamente as normas técnicas, como a NBR 5410, que estabelece limites para a queda de tensão e critérios para a capacidade de corrente dos condutores, garantindo que o sistema suporte a demanda sem sobrecargas ou perdas excessivas. A queda de tensão entre a origem da instalação e qualquer ponto de utilização não deve exceder 4% da tensão nominal em circuitos terminais.

A compreensão dos defeitos elétricos e a implementação de dispositivos de proteção e medidas preventivas são fundamentais para garantir a segurança e a eficiência dos sistemas elétricos. A integração de soluções tecnológicas, combinada com manutenções preventivas, é a chave para reduzir os impactos das falhas e aumentar a confiabilidade dos sistemas (Gross, 2017).

### **3 METODOLOGIA**

O presente trabalho foi conduzido como um estudo de caso, focado na análise e solução de um problema elétrico específico em um terminal portuário. A metodologia adotada, de natureza exploratória e descritiva, buscou diagnosticar as causas de um problema preexistente para, em seguida, propor e detalhar uma solução de engenharia robusta e preventiva.

### 3.1 ANÁLISE DIAGNÓSTICA DA INSTALAÇÃO EXISTENTE

A primeira etapa consistiu em uma análise detalhada do sistema elétrico do scanner antigo, com o objetivo de identificar possíveis causas para as falhas recorrentes. Os procedimentos realizados foram:

- Levantamento de falhas: A investigação partiu de relatos de operadores e técnicos, que indicavam a ocorrência de queimas de placas eletrônicas e a vulnerabilidade do equipamento a eventos externos da rede;
- Medição de qualidade de energia: Foram instalados analisadores de energia Fluke 1744 para monitorar o circuito do scanner. O objetivo foi coletar dados sobre parâmetros como variações de tensão, a fim de diagnosticar distúrbios de energia que pudessem impactar os componentes sensíveis do equipamento.

### 3.2 PROJETO E DIMENSIONAMENTO DA NOVA INSTALAÇÃO ELÉTRICA

Com ajuda dos dados coletados na fase diagnóstica, foi elaborado o projeto da nova instalação elétrica. O processo de dimensionamento e a escolha das soluções seguiram rigorosamente as normas técnicas vigentes e foram guiados por uma abordagem preventiva. As ações de projeto incluíram:

- Dimensionamento e justificativa: O dimensionamento dos condutores elétricos, bem como da infraestrutura associada, baseou-se em critérios estabelecidos pela NBR 5410;
- Proposição de soluções preventivas: A partir dos problemas observados no sistema antigo, foram propostas soluções para o novo projeto, como a instalação de um No-Break.

## 4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

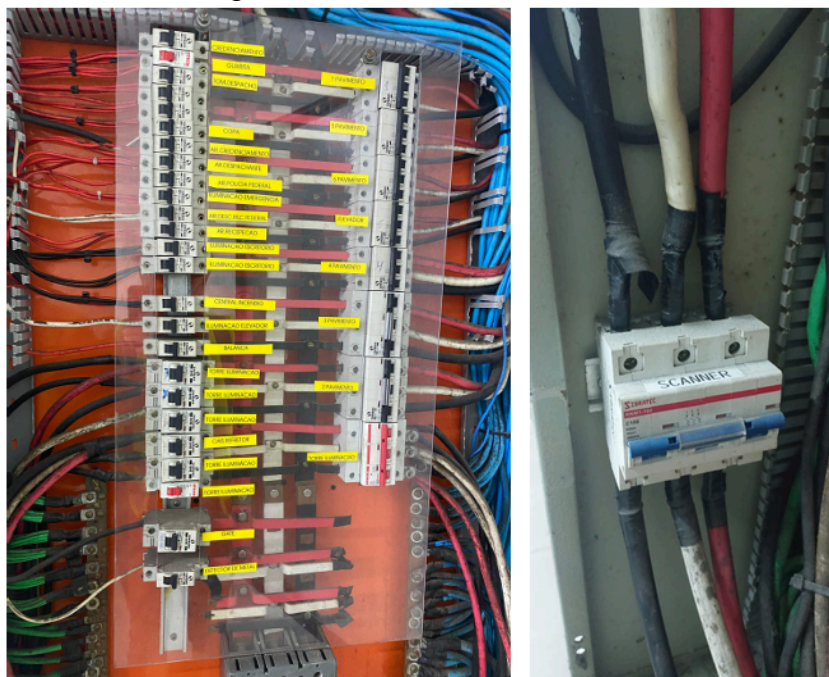
Neste capítulo, detalha-se o estudo de caso realizado, que abrange desde a apresentação dos dados iniciais e das medições elétricas essenciais para o diagnóstico das falhas do scanner existente até a descrição dos procedimentos e materiais empregados na análise e no projeto da nova instalação. Serão abordados o dimensionamento e as soluções propostas para assegurar a operação contínua e eficiente do novo equipamento.

### 4.1 MEDIÇÕES

Na Figura 1, ilustra-se o quadro elétrico principal, ou quadro "pai", responsável por alimentar o quadro elétrico que foi objeto das medições.

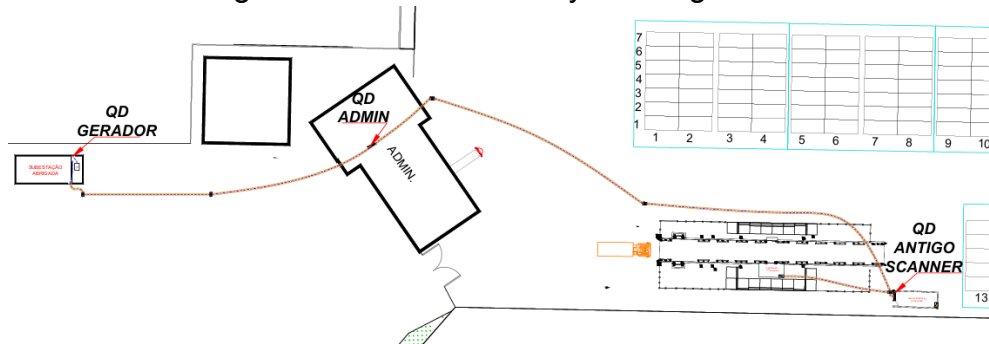
O circuito no qual foi medido é derivado do quadro (QD ADMIN), sendo protegido por um disjuntor de 100 A posicionado lateralmente no quadro elétrico. O disjuntor geral de entrada deste quadro possui uma capacidade de 400 A. A Figura 2 ilustra o layout do terminal portuário com o antigo scanner, que foi o objeto das medições realizadas para este trabalho.

Imagem 1 – Quadro administrativo



Fonte: Aatoria própria.

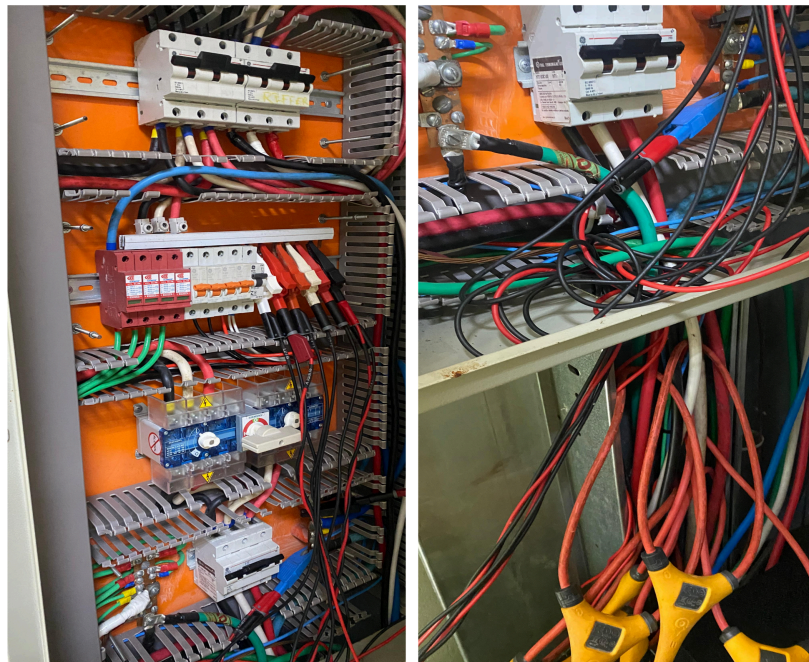
Imagem 2 – Planta baixa layout antigo scanner



Fonte: Aatoria própria.

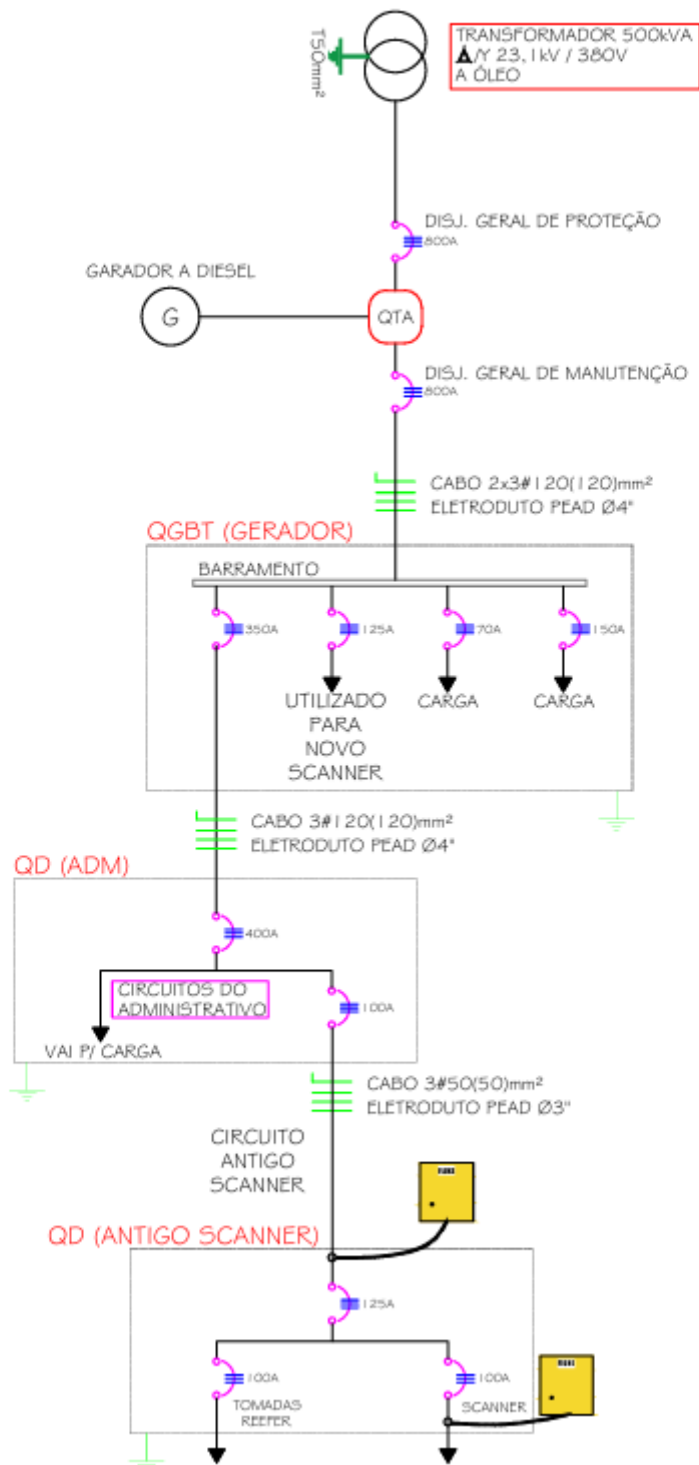
Para tentar diagnosticar o problema com as queimas das placas eletrônicas, foi instalado dois analisadores de energia Fluke 1744, os quais foram instalados no quadro elétrico presente na guarita de operação do scanner, um analisador foi instalado na entrada do quadro, e outro no circuito que alimentava o scanner. As medições foram feitas em diferentes períodos.

Imagem 3 – Analisador de energia instalado



Fonte: Aatoria própria.

Imagem 4 – Diagrama unifilar antigo scanner

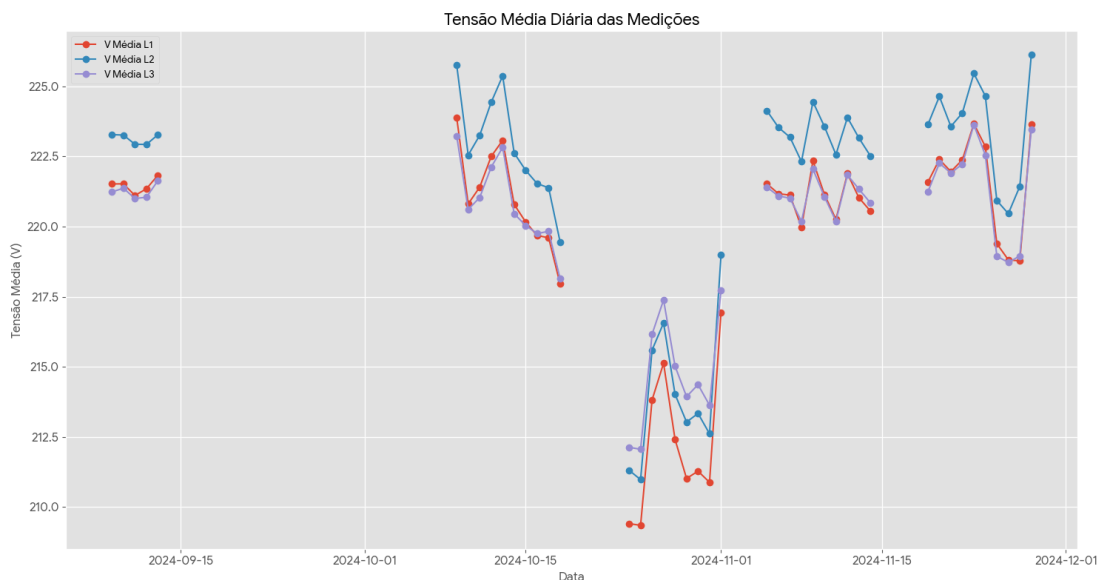


Fonte: Autoria própria.

As duas vistas na imagem 3 demonstram o arranjo de medição no quadro elétrico. A imagem à esquerda destaca a ligação dos medidores, que fornecem a medição de tensão ao analisador. À direita, é visível a instalação dos Transformadores de Corrente (TCs). Devido ao fato de os condutores dos circuitos de entrada e saída saírem pela base do quadro, os TCs foram posicionados no mesmo local, diferenciados pela aplicação em cabos específicos para cada circuito.

Durante o período de monitoramento, de 9 de setembro a 28 de novembro de 2024, as medições apresentaram descontinuidades pontuais, a imagem 5 ilustra essa intermitência e o comportamento das medições ao longo do tempo. No gráfico, cada ponto representa a tensão média diária, o que já permite identificar uma diferença notável na terceira medição em relação às demais. Estas ocorreram devido a uma combinação de fatores: as limitações de memória dos analisadores de energia, que exigiam a coleta e o reinício frequente dos registros e a complexidade burocrática de acesso à área alfandegada, que tornava o processo de coleta de dados demorado e restrito. Conseqüentemente, a priorização de outras demandas de projetos e obras impediu a obtenção de uma constância ideal nos dados monitorados.

Imagem 5 – Gráfico ilustrando os períodos das medições



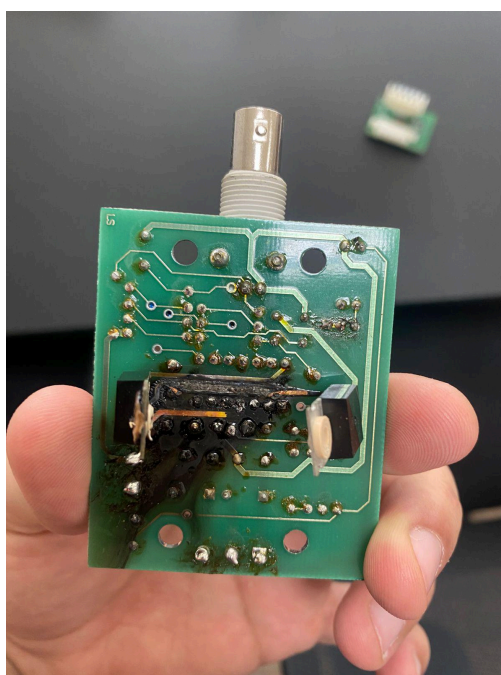
Fonte: Autoria própria.

Embora não tenha sido possível capturar dados exatos no momento das queimas de placas, nem identificar uma causa única e específica para essas falhas no equipamento existente, as informações obtidas nas medições foram de extrema

valia. Elas forneceram dados reais sobre o perfil de carga do scanner, tornando-se fundamentais para o dimensionamento preciso dos condutores e sistemas de proteção no projeto da nova instalação.

Com base em relatos de colaboradores da empresa, que descreveram ocorrências de afundamentos de tensão, presume-se que tais distúrbios contribuam para a ocorrência de danos nas placas eletrônicas do scanner. A imagem 6 ilustra um exemplo dos danos identificados em uma placa após um desses eventos.

Imagem 6 – Placa queimada



Fonte: Autoria própria

O custo de reposição de cada placa danificada para a empresa é de aproximadamente R\$20.000,00. A recorrência desses danos representa um ônus financeiro significativo, impactando diretamente os custos operacionais. Adicionalmente, foram registrados casos de queimas em placas que abrigam os receptores de sinal de raio-X, responsáveis pela captação das imagens do contêiner fiscalizado. A imagem 7 ilustra o processo de fiscalização de contêineres por meio do scanner. O caminhão transportando o contêiner passa pelo arco do equipamento, que emite um feixe de raio-X. O sinal atravessa o contêiner e é captado por um receptor, que, com base na variação da intensidade do feixe, gera a imagem interna do contêiner para análise.

Imagem 7 – Desenho de um scanner de inspeção



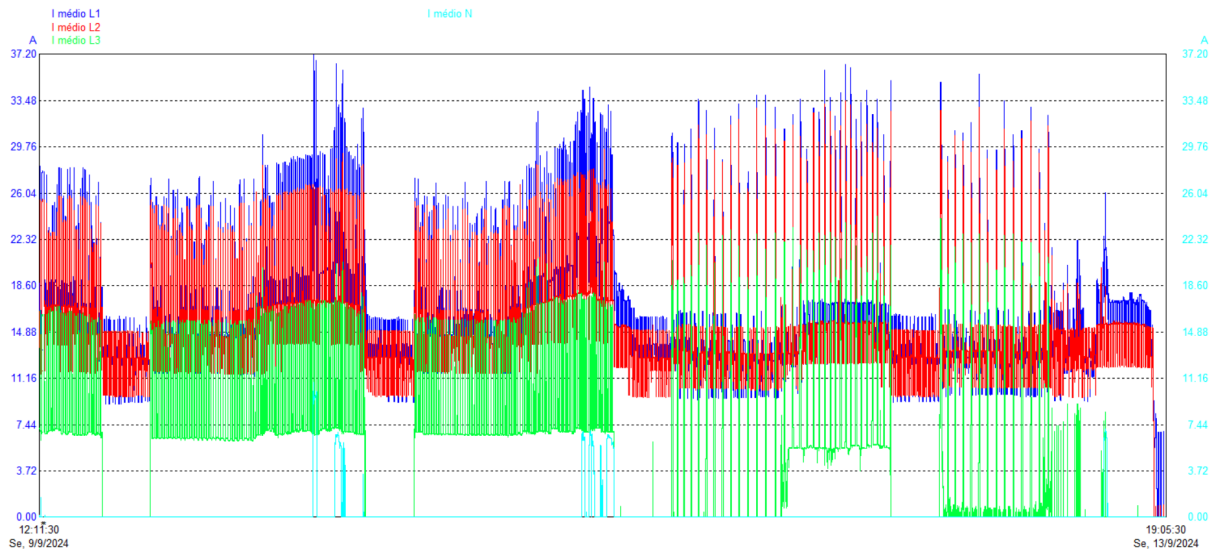
Fonte: Google Imagens

A instalação de analisadores de energia tornou-se uma etapa fundamental da metodologia empregada. O objetivo foi diagnosticar e confirmar a ocorrência de distúrbios na rede elétrica e, subsequentemente, embasar as estratégias para mitigar esses eventos, os quais foram identificados como potenciais causas da queima recorrente dos equipamentos sensíveis.

As medições de tensão e corrente são apresentadas nos gráficos a seguir para fornecer uma análise detalhada do comportamento da instalação elétrica do scanner. Os valores representados correspondem ao valor eficaz (RMS) da grandeza medida. O valor RMS (Root Mean Square), ou valor eficaz, é a medida de um sinal de corrente alternada (AC) que corresponde ao valor de corrente contínua (DC) que produziria a mesma quantidade de calor em uma carga resistiva. É a medida mais comum para determinar o valor de uma tensão ou corrente alternada, pois reflete a capacidade real de um sinal de realizar trabalho ou fornecer energia. Nos gráficos, cada ponto de dados representa um valor RMS de tensão e corrente, permitindo uma visualização clara das tendências e das anomalias do fornecimento de energia ao longo dos períodos monitorados.

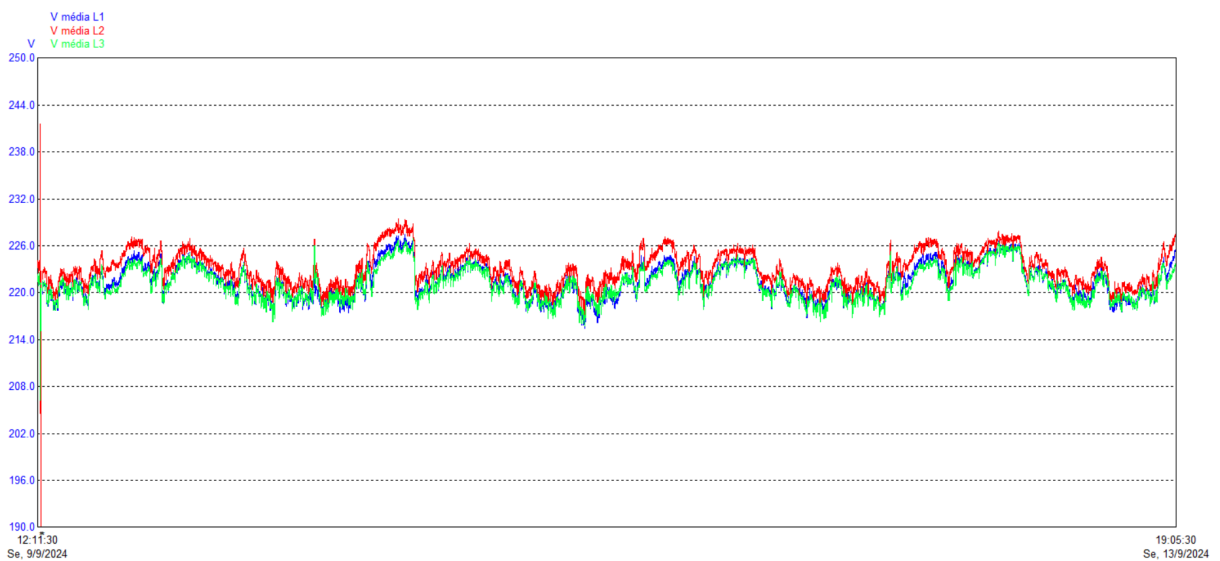
#### 4.1.1 Medições do quadro geral no período 09/09/2024 a 13/09/2024

Imagem 8 – Gráfico da corrente do QD geral 09/09 a 13/09



Fonte: Autoria própria

Imagem 9 – Gráfico da tensão do QD geral 09/09 a 13/09



Fonte: Autoria própria

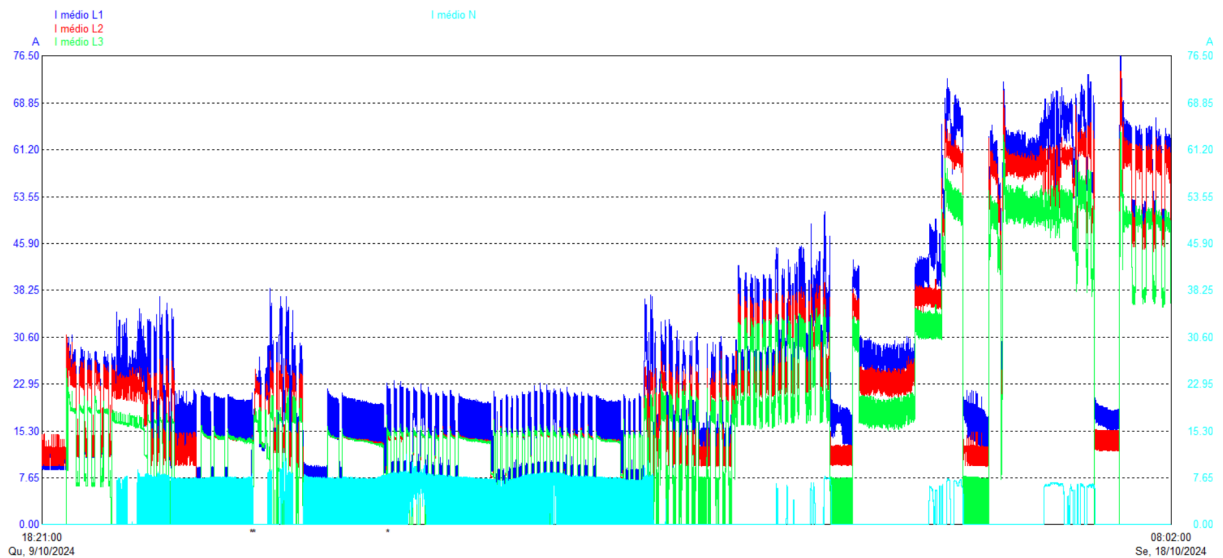
Ao analisar a corrente no quadro geral, foram observadas algumas variações, atribuídas às oscilações das cargas ao longo dos diferentes períodos do dia. Contudo, tais variações encontram-se dentro dos padrões esperados e não indicam qualquer anomalia que possa justificar eventuais falhas no sistema.

A imagem 9, que apresenta o gráfico da tensão, demonstra uma variação considerada normal, sem evidências de irregularidades ou instabilidades que

possam comprometer o funcionamento dos equipamentos. A coleta dos dados foi realizada com um intervalo de 30 segundos entre cada amostragem.

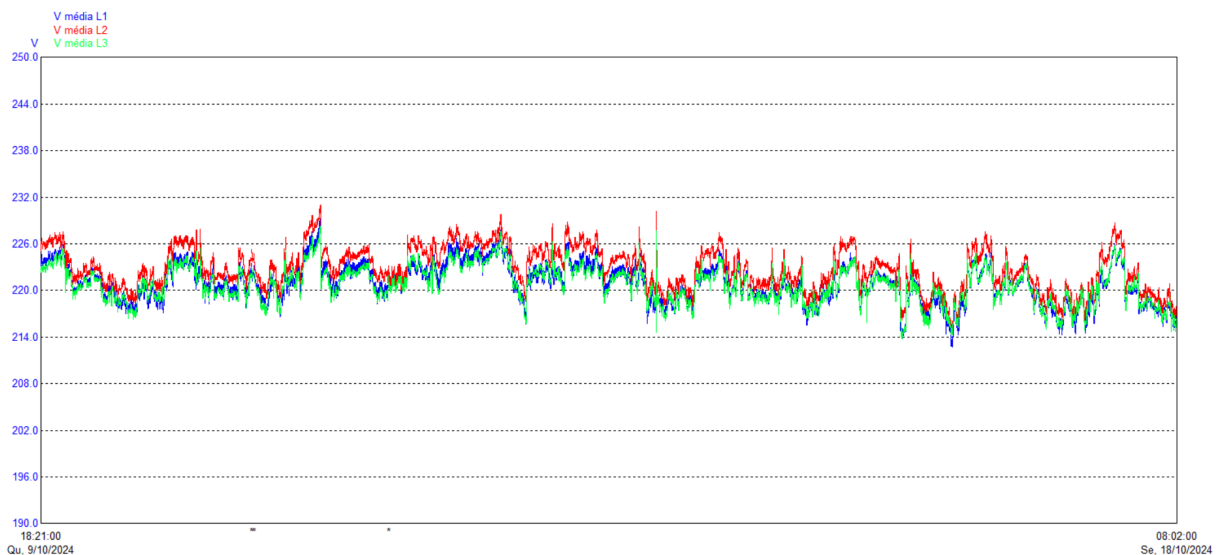
#### 4.1.2 Medições do quadro geral no período 09/10/2024 a 18/10/2024

Imagem 10 – Gráfico da corrente do QD geral 09/10 a 18/10



Fonte: Autoria própria

Imagem 11 – Gráfico da tensão do QD geral 09/10 a 18/10



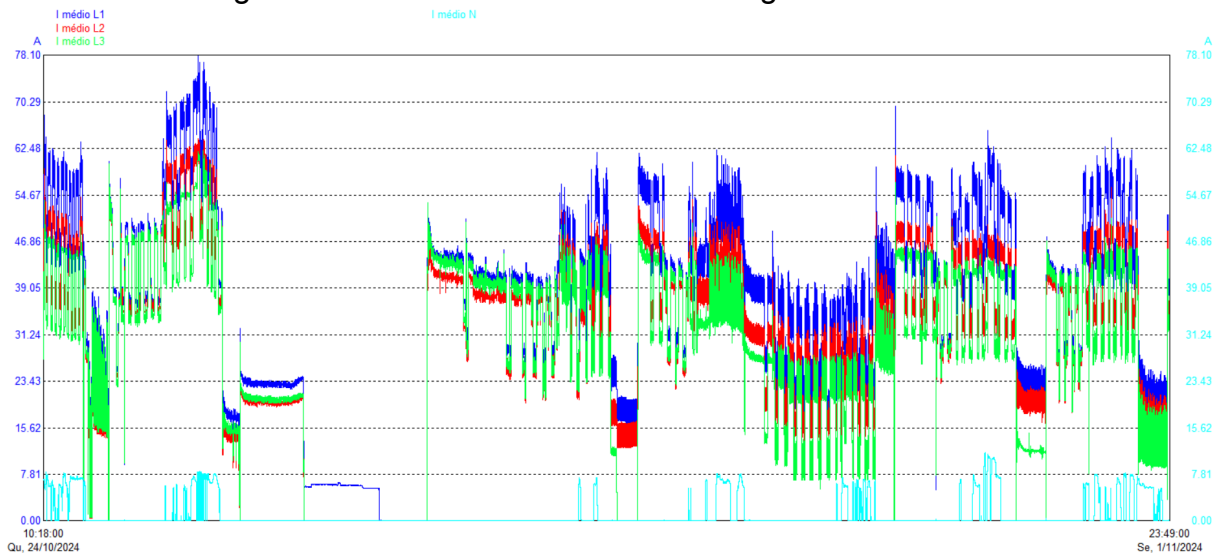
Fonte: Autoria própria

Para o período analisado, o gráfico de tensão apresentou-se dentro dos padrões estabelecidos, sem variações significativas que indicassem possíveis falhas. No entanto, o gráfico de corrente evidenciou alguns picos em determinados momentos, indicando variações pontuais no consumo de energia. Ressalta-se que a

coleta dos dados foi realizada com um intervalo de 1 minuto entre cada amostragem, proporcionando uma boa resolução para a identificação dessas oscilações.

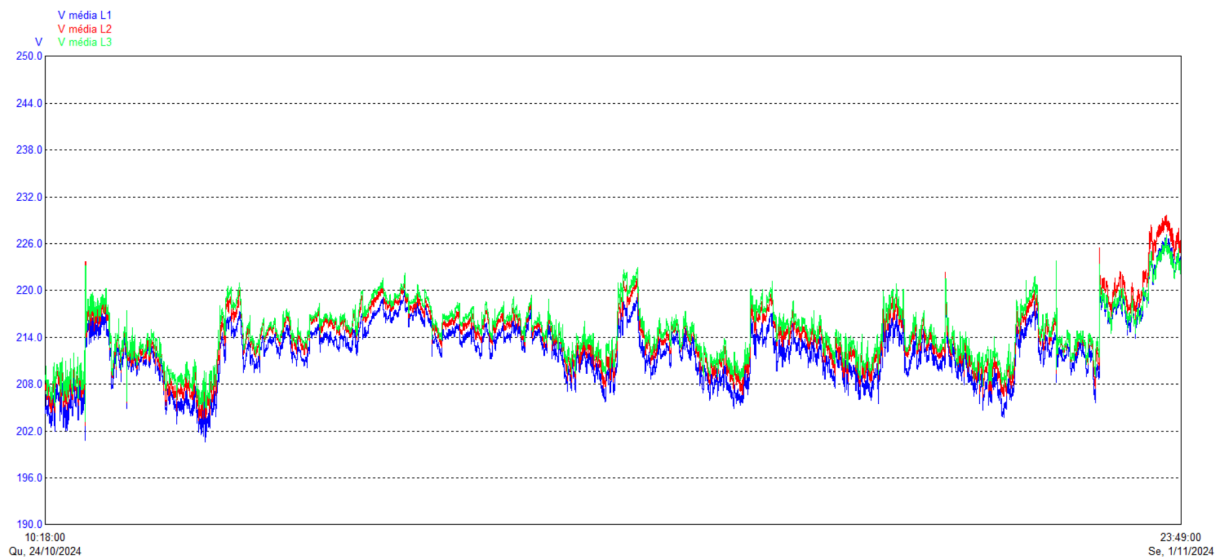
#### 4.1.3 Medições do quadro geral no período 24/10/2024 a 01/11/2024

Imagem 12 – Gráfico da corrente do QD geral 24/10 a 01/11



Fonte: Autoria própria

Imagem 13 – Gráfico da tensão do QD geral 24/10 a 01/11

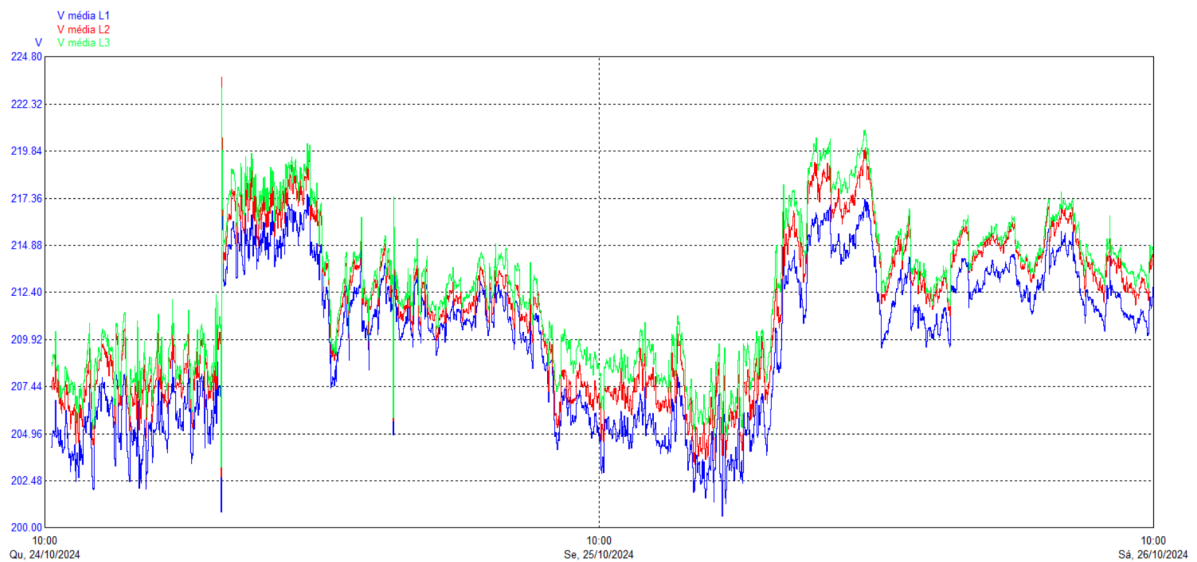


Fonte: Autoria própria

Durante este período de medições, o gráfico de tensão apresentou oscilações, com registros de valores inferiores a 202 V. Esse afundamento de tensão indica uma possível instabilidade no fornecimento de energia, o que pode comprometer o desempenho de equipamentos sensíveis e, em casos mais críticos,

contribuir para a ocorrência de falhas em sistemas eletrônicos. O gráfico foi ampliado nas Figuras 14 e 15 para permitir a identificação precisa dos instantes em que a tensão caiu abaixo de 202 V.

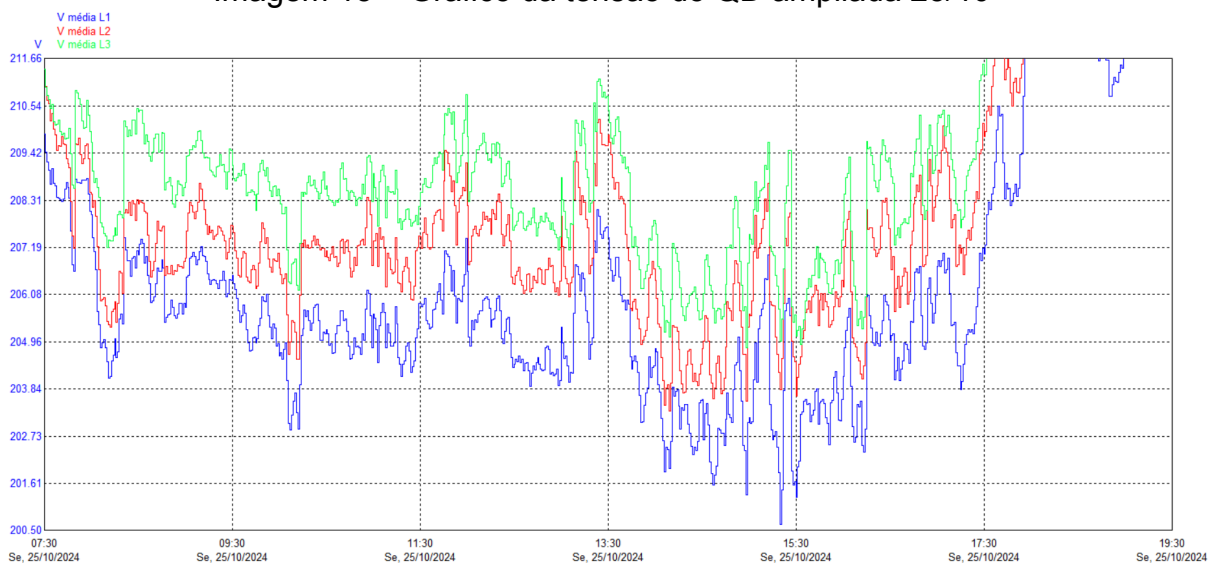
Imagem 14 – Gráfico da corrente do QD geral 24/10 a 26/10



Fonte: Autoria própria

Observa-se a ocorrência de afundamentos de tensão em dois dias consecutivos, ambos registrados após as 10 horas da manhã. Essa coincidência pode indicar um padrão de sobrecarga ou variação no fornecimento de energia nesse intervalo de tempo, possivelmente associado ao acionamento de cargas elevadas no sistema.

Imagem 15 – Gráfico da tensão do QD ampliada 25/10



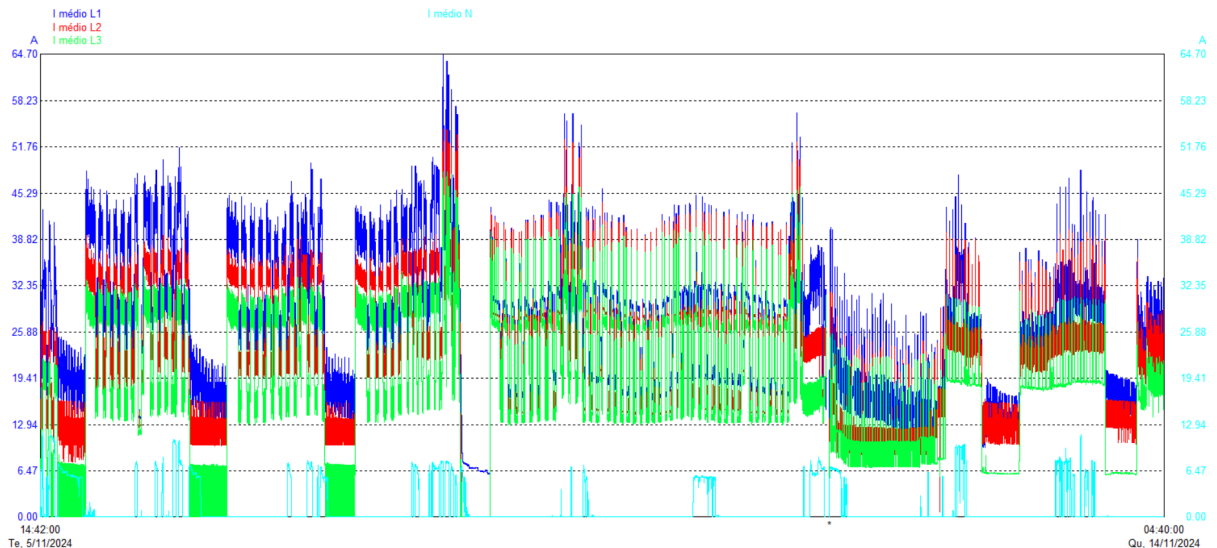
Fonte: Autoria própria

A análise do gráfico mostra que, por volta das 15h30, a tensão da rede atingiu aproximadamente 200 V. De acordo com o Módulo 8 do PRODIST, esse valor se enquadra na faixa precária, que para uma rede nominal de 220V, está entre 191V e 202V.

Essa condição de afundamento de tensão não está em conformidade com as diretrizes da ANEEL e pode comprometer o funcionamento de equipamentos sensíveis, representando um risco potencial à integridade de componentes eletrônicos se ocorrer com frequência.

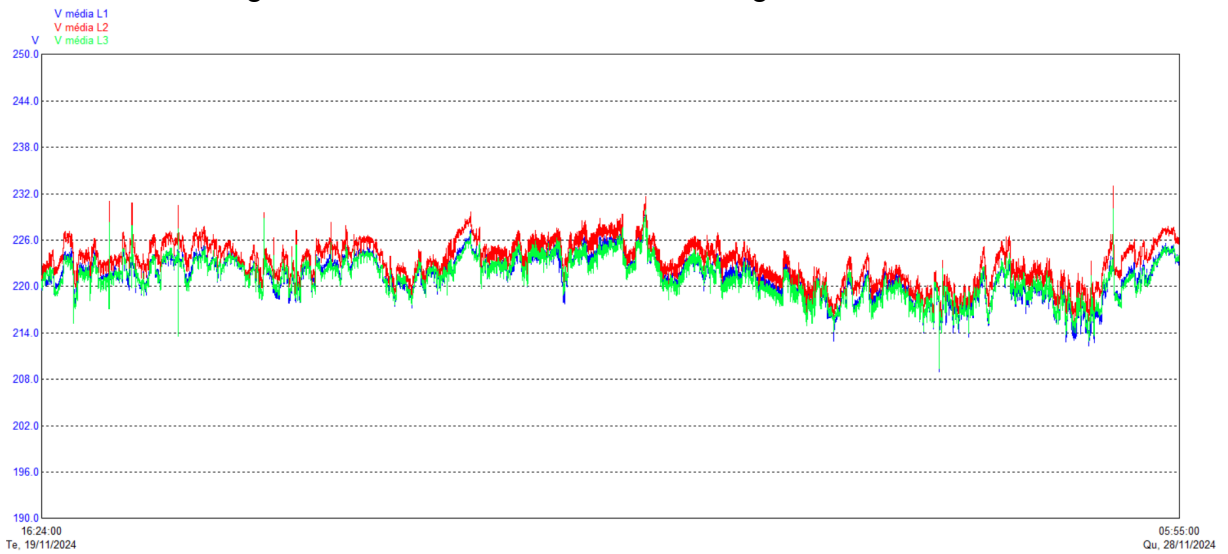
#### 4.1.4 Medições do quadro geral no período 05/11/2024 a 14/11/2024

Imagem 16 – Gráfico da corrente do QD geral 05/11 a 14/11



Fonte: Autoria própria

Imagem 17 – Gráfico da tensão do QD geral 05/11 a 14/11

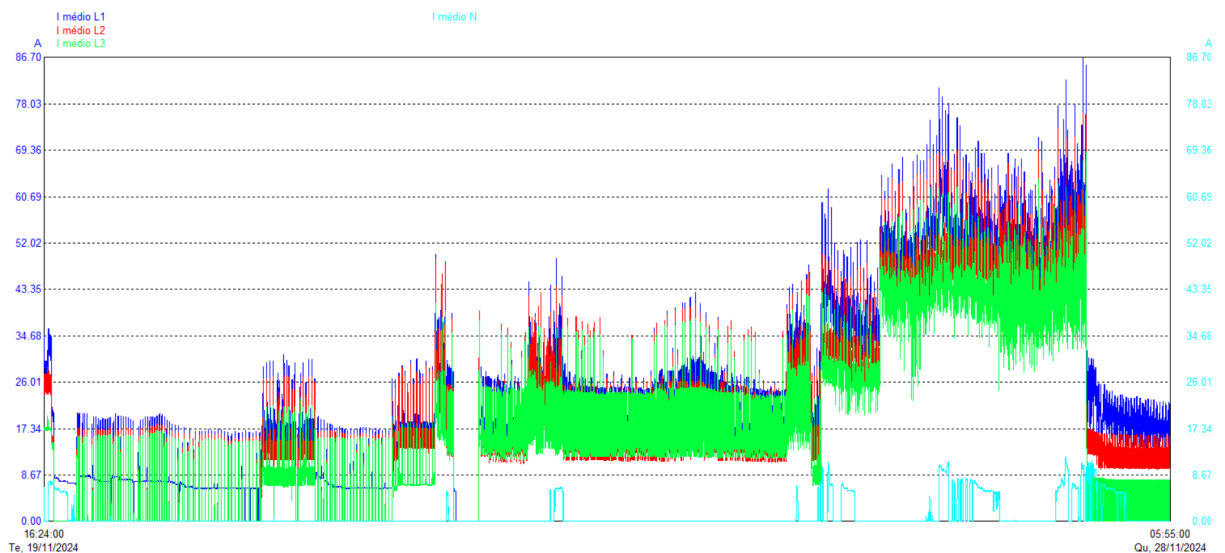


Fonte: Aatoria própria

Para este período, observou-se uma tensão estável e uma corrente compatível com o perfil das cargas instaladas, não sendo identificados sinais de anomalias ou falhas no sistema elétrico.

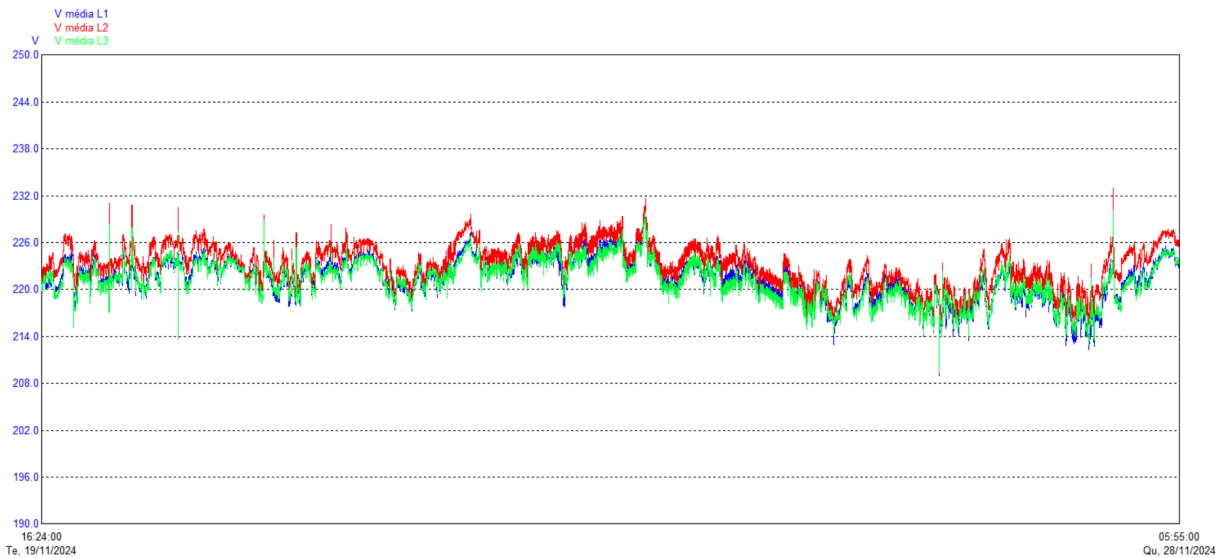
#### 4.1.5 Medições do quadro geral no período 19/11/2024 a 28/11/2024

Imagem 18 – Gráfico da corrente do QD geral 19/11 a 28/11



Fonte: Aatoria própria

Imagem 19 – Gráfico da tensão do QD geral 19/11 a 28/11



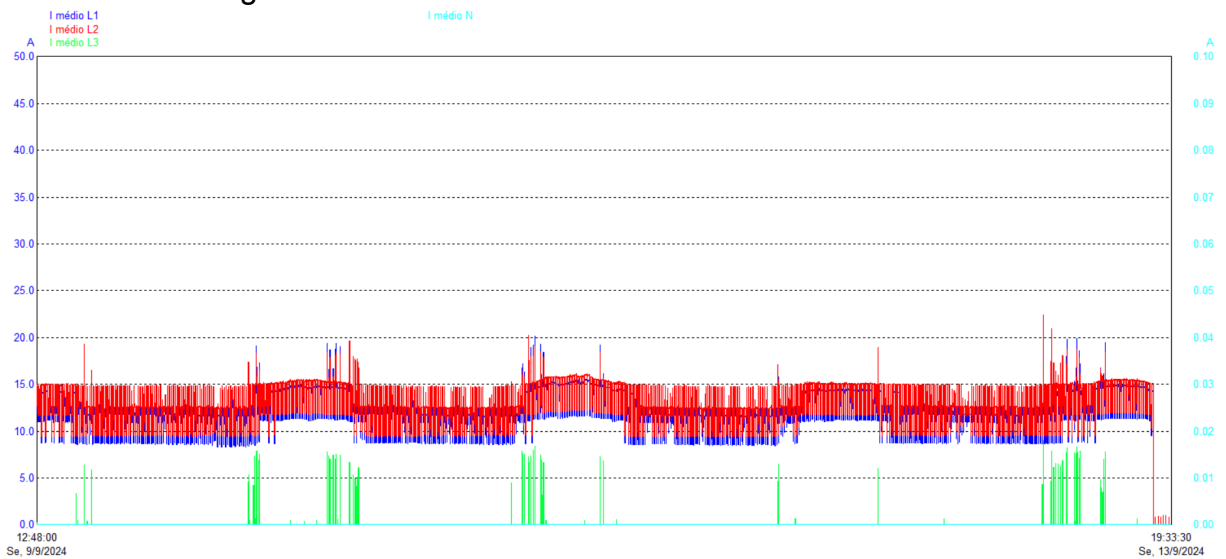
Fonte: Autoria própria

Para essa medição, observou-se uma tensão predominantemente estável, embora com algumas oscilações pontuais e picos momentâneos. Essas variações, no entanto, mantiveram-se dentro dos limites aceitáveis e não indicam, isoladamente, a ocorrência de falhas ou instabilidades relevantes no sistema.

#### 4.1.6 Medições do circuito do scanner no período 09/09/2024 a 13/09/2024

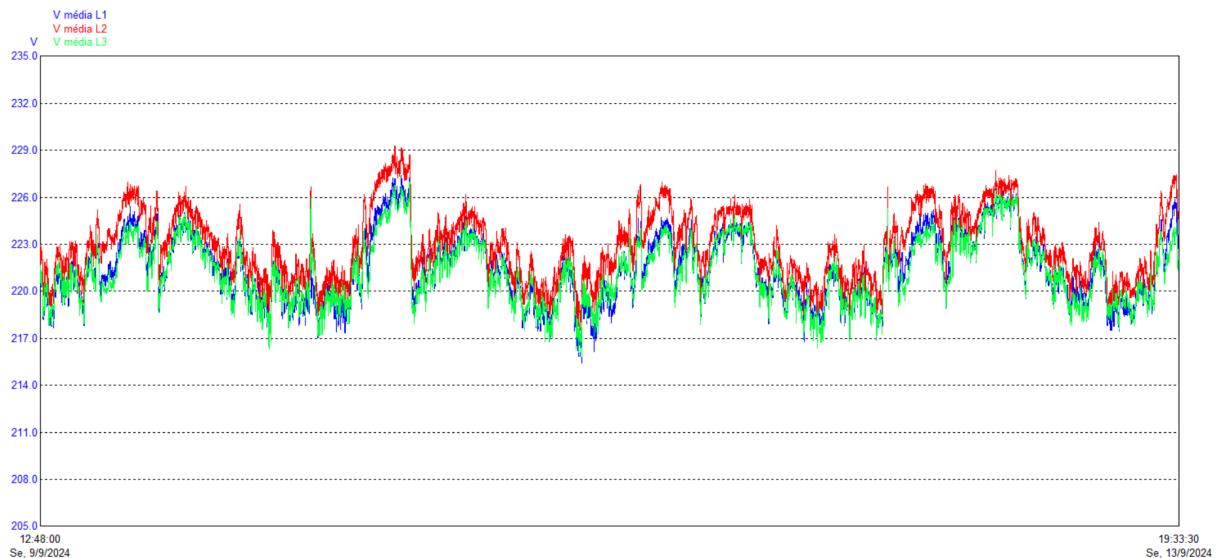
As medições apresentadas anteriormente foram realizadas na entrada do quadro antigo scanner, que alimentava diversos circuitos além da carga do scanner. Por outro lado, as medições a seguir referem-se exclusivamente ao circuito de alimentação que sai deste quadro e se destina ao scanner.

Imagem 20 – Gráfico da corrente do scanner 09/09 a 13/09



Fonte: Autoria própria

Imagem 21 – Gráfico da tensão do scanner 09/09 a 13/09

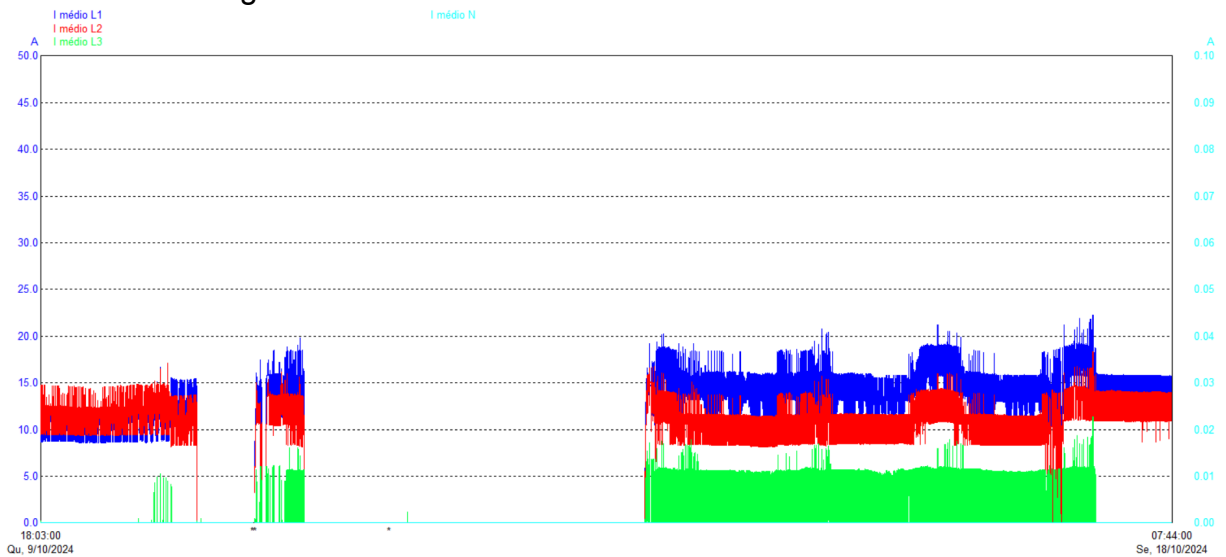


Fonte: Autoria própria

A partir da análise do gráfico de corrente, observa-se uma predominância de consumo em duas das fases, sugerindo um possível desbalanceamento entre as cargas trifásicas. No gráfico de tensão, verificam-se oscilações pontuais, com valores chegando a até 229 V, ainda dentro dos limites operacionais.

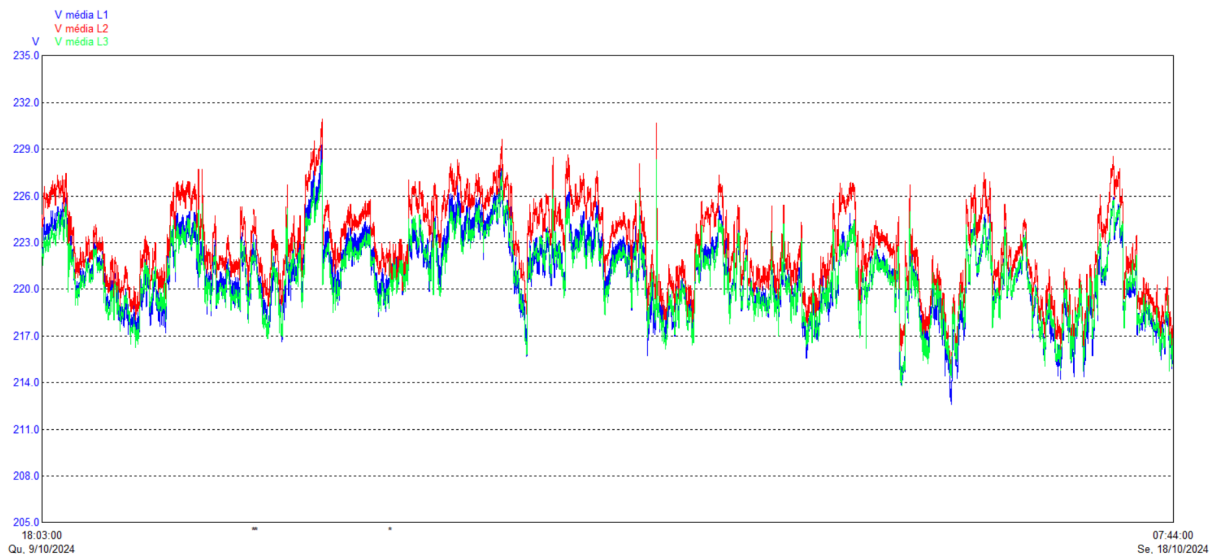
#### 4.1.7 Medições do circuito do scanner no período 09/10/2024 a 18/10/2024

Imagem 22 – Gráfico da corrente do scanner 09/10 a 18/10



Fonte: Autoria própria

Imagem 23 – Gráfico da tensão do scanner 09/10 a 18/10

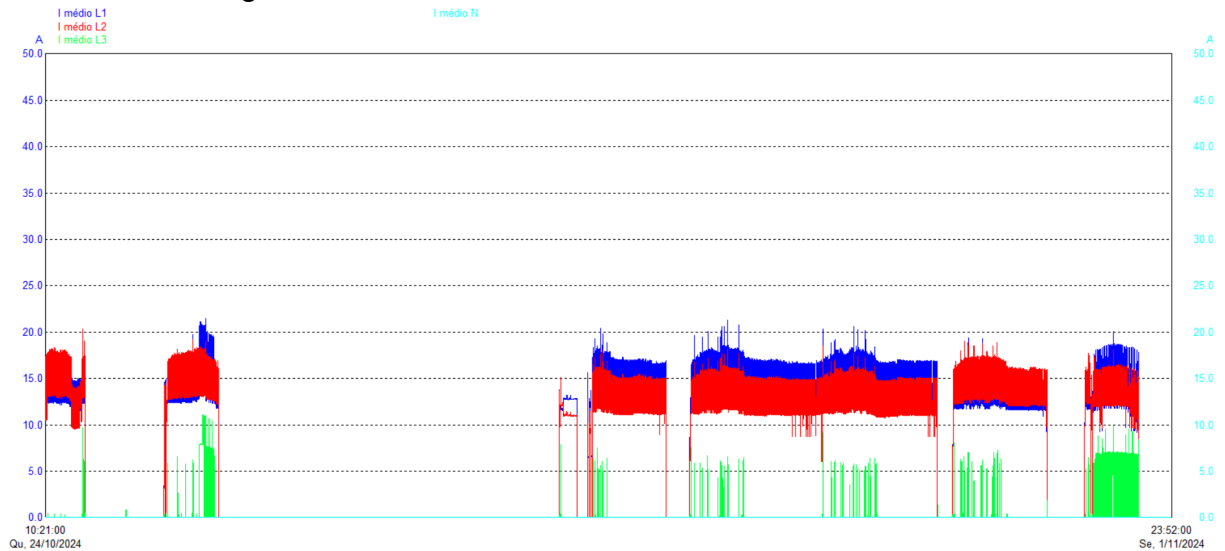


Fonte: Autoria própria

Neste período, observa-se um intervalo sem registros no gráfico de corrente, decorrente de manutenções realizadas no sistema, durante as quais os equipamentos permaneceram desligados. Ressalta-se que, nesse intervalo, o tempo de integralização dos dados foi de 1 minuto, diferindo do período anterior, no qual a coleta era realizada a cada 30 segundos.

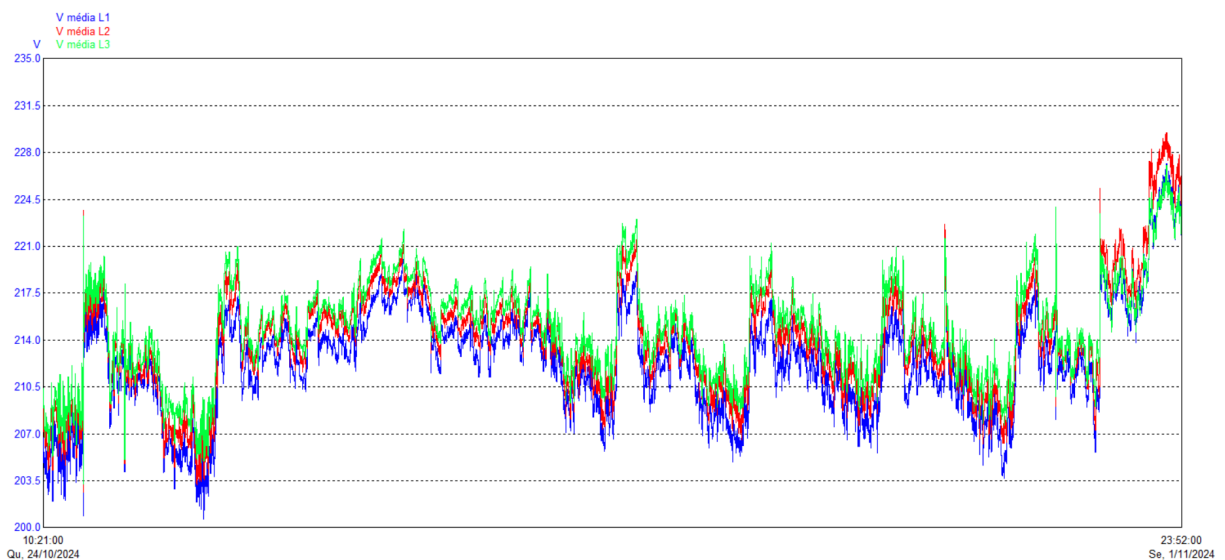
#### 4.1.8 Medições do circuito do scanner no período 24/10/2024 a 01/11/2024

Imagem 24 – Gráfico da corrente do scanner 24/10 a 01/11



Fonte: Autoria própria

Imagem 25– Gráfico da tensão do scanner 24/10 a 01/10

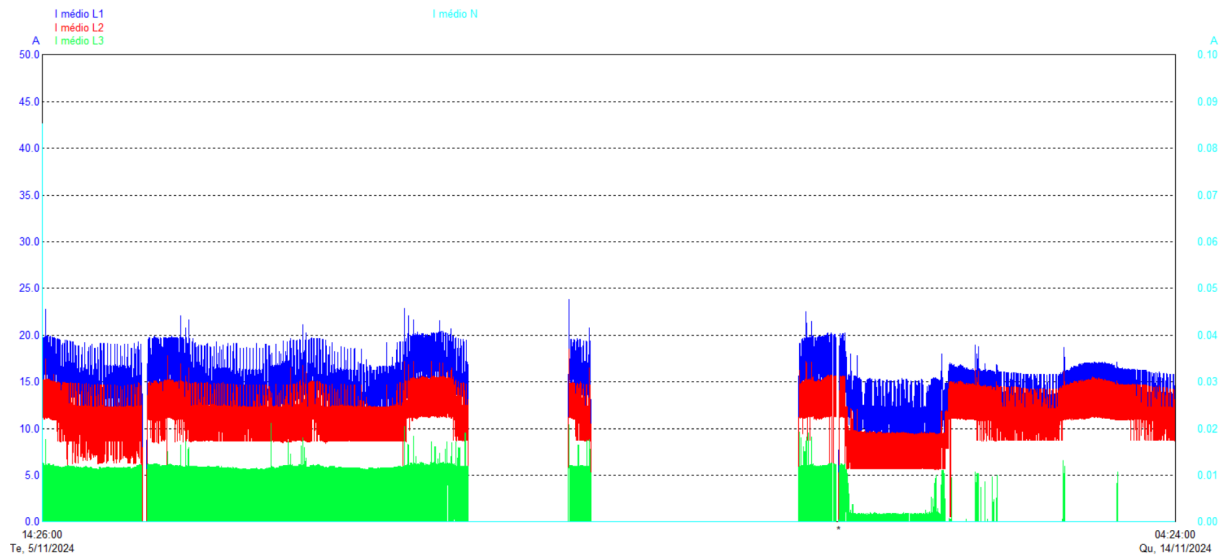


Fonte: Autoria própria

Durante o período analisado, a tensão apresentou oscilações significativas, variando entre valores próximos de 230 V e 200 V, indicando instabilidades no fornecimento de energia. Em relação à corrente, foi identificado um intervalo sem registros devido à interrupção da operação do equipamento, o que justifica momentos sem registros observados no gráfico.

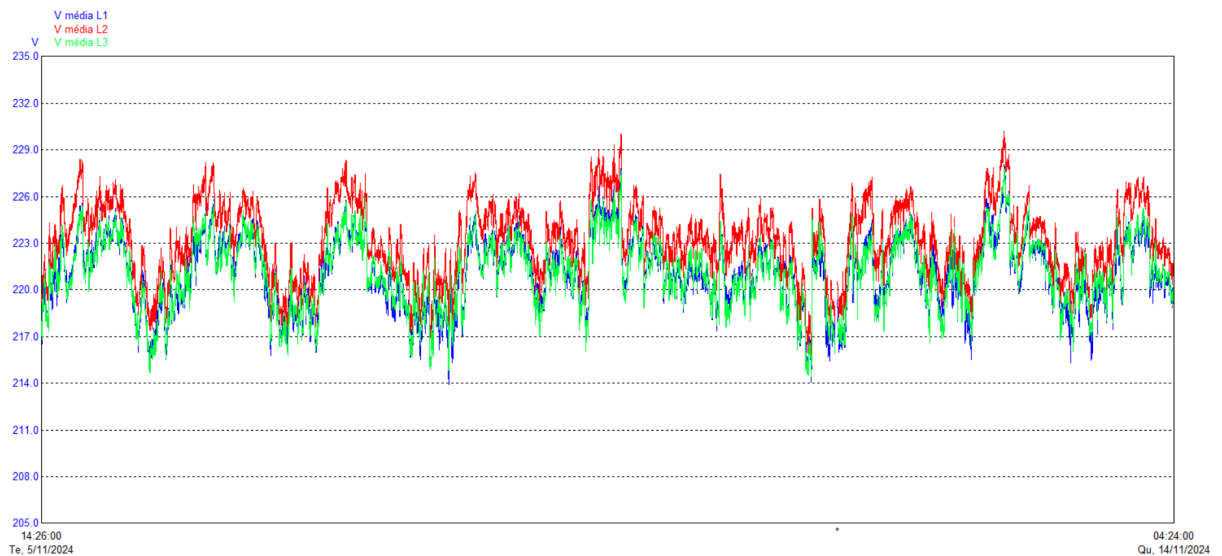
#### 4.1.9 Medições do circuito do scanner no período 05/11/2024 a 14/11/2024

Imagem 26 – Gráfico da corrente do scanner 05/11 a 14/11



Fonte: Autoria própria

Imagem 27– Gráfico da tensão do scanner 05/11 a 14/11



Fonte: Autoria própria

Nesse período, também foram identificados intervalos sem registros no gráfico de corrente, devido à inatividade temporária dos equipamentos. Já o gráfico de tensão apresentou oscilações, com valores que, em determinados momentos, ultrapassaram 229 V e ficaram abaixo de 214 V, evidenciando variações que merecem atenção quanto à estabilidade do fornecimento elétrico.

#### 4.1.10 Medições do circuito do scanner no período 19/11/2024 a 28/11/2024

Imagem 28 – Gráfico da corrente do scanner 19/11 a 28/11

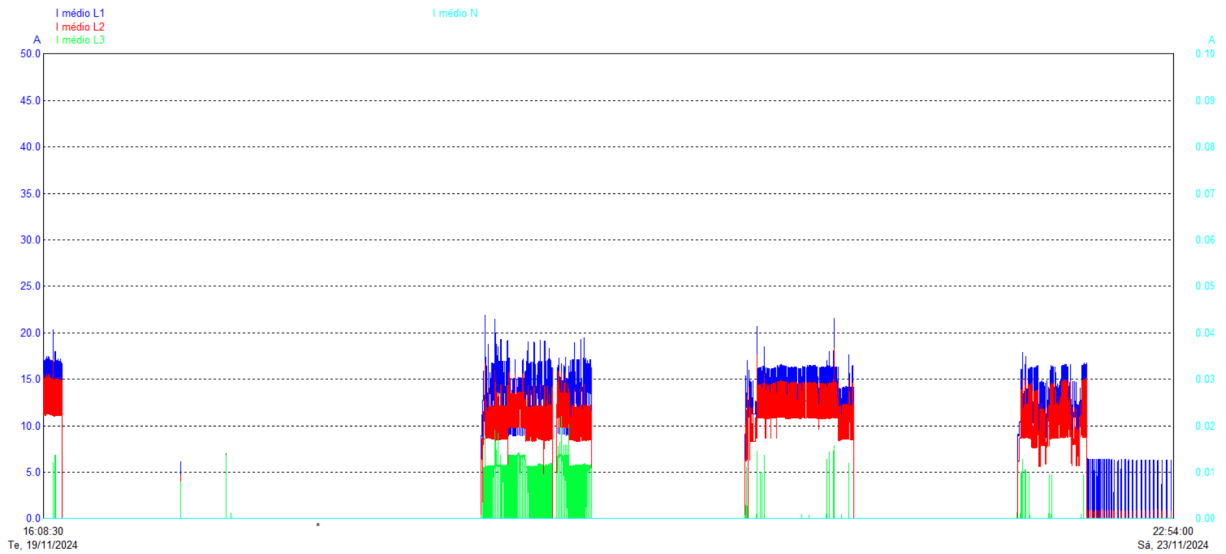
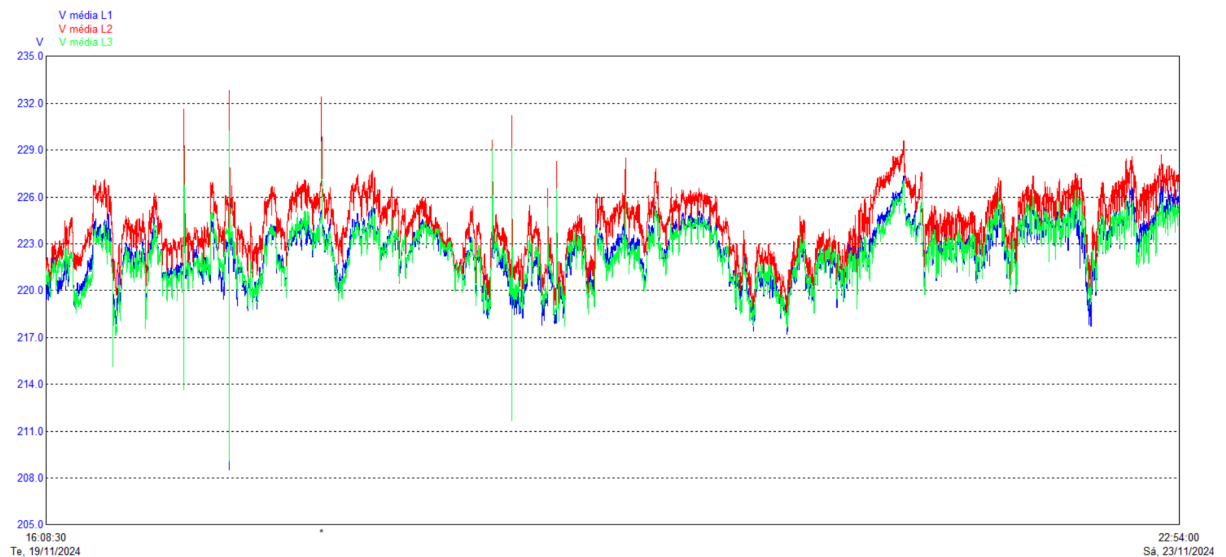
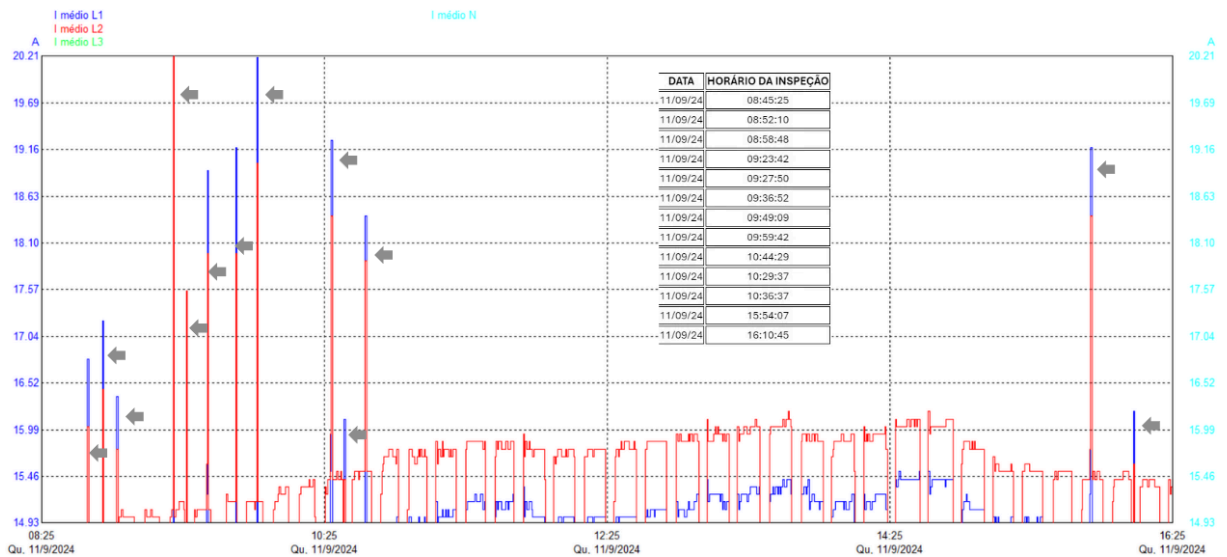


Imagem 29– Gráfico da tensão do scanner 19/11 a 28/11



A operação do scanner é por natureza intermitente, diretamente vinculada à demanda de fiscalização do terminal, o que resulta em períodos de baixa utilização. Para compreender o perfil de consumo do equipamento, os dados de medição foram cruzados com os horários das inspeções, fornecidos pelos fiscais responsáveis. Essa análise permitiu a identificação de picos de corrente que consistentemente coincidem com os momentos das inspeções. Esse comportamento é esperado, dado que a geração das imagens de raio-X demanda um consumo de energia significativamente maior durante a ativação do equipamento.

Imagem 30 – Comparativo gráfico da corrente x inspeção



Como pode ser observado, os horários em que foram realizadas as inspeções coincidem com os picos de corrente registrados no gráfico. Esse comportamento sugere que, durante as inspeções, há um aumento significativo no consumo de corrente do sistema, possivelmente devido à ativação de componentes específicos do scanner. Esse padrão se repete em outras medições realizadas, indicando que a operação do scanner durante as inspeções pode ser um fator determinante no aumento da demanda elétrica. A análise desse comportamento é fundamental para compreender o impacto das inspeções na alimentação do equipamento e para avaliar a necessidade de ajustes no sistema elétrico, a fim de evitar sobrecargas ou falhas operacionais.

A complexidade do diagnóstico das falhas do scanner foi ampliada pela impossibilidade de capturar eventos elétricos no exato momento das queimas das placas eletrônicas durante as medições. Essa limitação impediu uma análise precisa da causa raiz. Somado a isso, as tentativas de colaboração com a empresa de manutenção do scanner, buscando informações e diagramas técnicos, não foram bem-sucedidas, pois a empresa alegou confidencialidade do material, restringindo o acesso a dados cruciais para um diagnóstico mais aprofundado.

#### 4.2 POTÊNCIAS DO QUADRO DO ANTIGO SCANNER

Com as medições realizadas, foi possível obter informações sobre a potência consumida pelos circuitos conectados ao quadro. Dessa forma, pode-se determinar a quantidade de energia consumida, proporcionando uma melhor compreensão do desempenho do sistema.

- Potência máxima QD em 09/09/24 à 13/09/24: 26,29 kVA;
- Potência máxima QD em 09/10/24 à 18/09/24: 46,99 kVA;
- Potência máxima QD em 24/10/24 à 01/11/24: 48,57 kVA;
- Potência máxima QD em 05/11/24 à 14/11/24: 35,81 kVA;
- Potência máxima QD em 19/11/24 à 28/11/24: 49,87 kVA;
- Potência máxima scanner em 09/09/24 à 13/09/24: 13,82 kVA;
- Potência máxima scanner em 09/10/24 à 18/09/24: 10,88 kVA;
- Potência máxima scanner em 24/10/24 à 01/11/24: 10,17 kVA;
- Potência máxima scanner em 05/11/24 à 14/11/24: 15,82 kVA;
- Potência máxima scanner em 19/11/24 à 28/11/24: 14,94 kVA.

Embora as medições detalhadas tenham proporcionado uma compreensão aprofundada do perfil de consumo do scanner existente e revelado a ocorrência de afundamentos de tensão pontuais, não foi possível correlacionar esses eventos diretamente com uma causa específica para a queima das placas eletrônicas. A intermitência das falhas e as limitações na captura de dados no momento exato das ocorrências dificultaram um diagnóstico conclusivo para o equipamento antigo.

No entanto, esses dados foram de valor inestimável. Durante esse período, a empresa foi contratada para projetar e executar a nova instalação elétrica do scanner substituto. As informações coletadas foram estrategicamente empregadas no novo projeto. Adotou-se uma abordagem preventiva, com foco em mitigar possíveis problemas de qualidade de energia e outras vulnerabilidades elétricas observadas, visando assegurar a confiabilidade e a operação contínua do novo equipamento, evitando os altos custos de manutenção e as interrupções que afetavam a instalação anterior.

### 4.3 PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE NOVO SCANNER

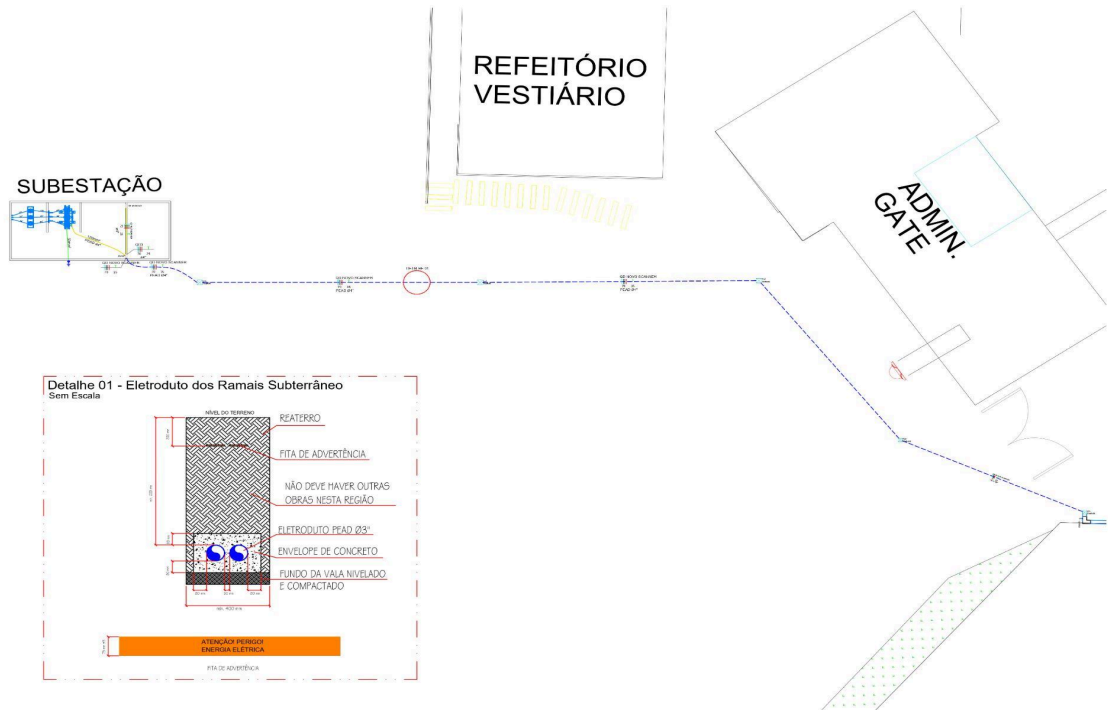
Durante o período de medições no scanner existente, surgiu a necessidade de substituí-lo em virtude de novas regulamentações governamentais que inviabilizaram a continuidade de operação desse tipo de equipamento. Simultaneamente, a empresa, em fase de expansão de sua capacidade operacional, adquiriu um novo scanner. Embora este equipamento já tivesse operado em outro terminal portuário, ele também precisará ser substituído futuramente devido a requisitos regulatórios. Contudo, o novo scanner adquirido atende às exigências para os próximos dez anos, prazo imposto pelas novas normativas.

A aquisição do novo scanner demandou uma readequação do layout do terminal, implicando na realocação do equipamento para uma posição mais distante da subestação existente. Nesse cenário, as medições de energia realizadas no scanner antigo foram fundamentais e auxiliaram para um dimensionamento mais preciso e real da nova instalação, visto que o perfil de carga seria muito parecido. A maior distância do novo ponto de instalação exigiu uma análise criteriosa da queda de tensão no projeto elétrico.

Adicionalmente, o circuito elétrico que anteriormente alimentava o scanner antigo foi adaptado para a alimentação de contêineres refrigerados. Anteriormente, a alimentação dos contêineres reefers era limitado a cinco contêineres. Com a adaptação, a capacidade será ampliada para até dezesseis contêineres, e um controlador de demanda será implementado. Essa medida é essencial devido às características de consumo dos compressores dos reefers, que apresentam picos de corrente na partida e menor consumo em regime de manutenção. Embora o projeto para os contêineres refrigerados não tenha sido executado em conjunto com a instalação do novo scanner, ele já foi considerado em projeto.

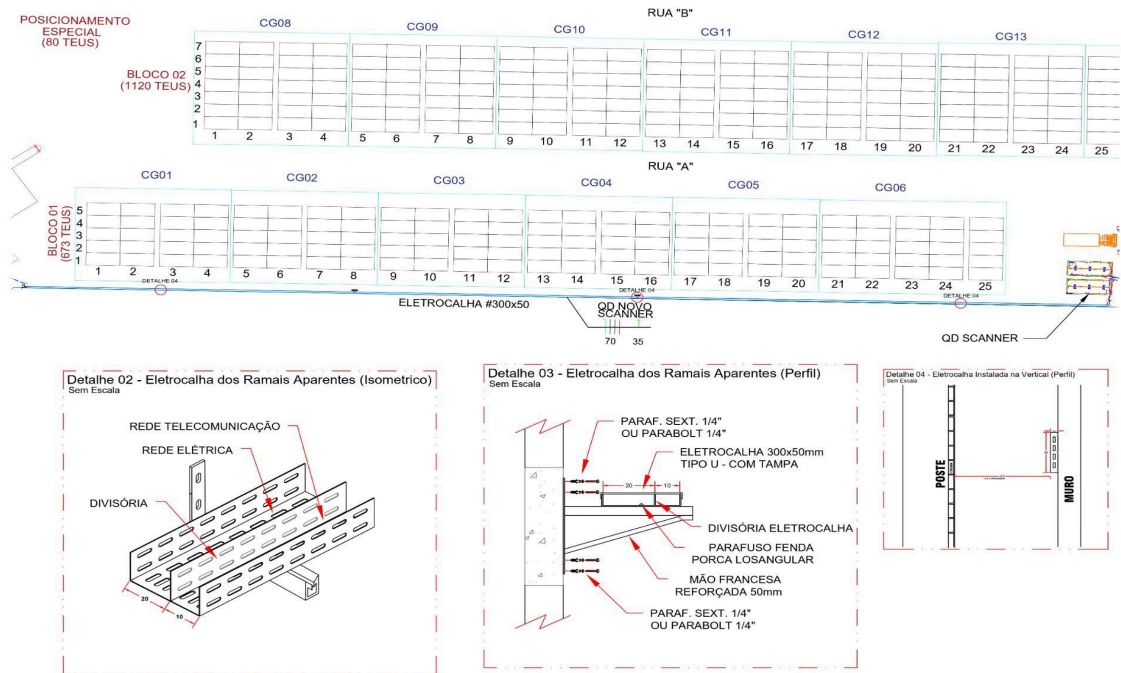
No decorrer do projeto, uma nova demanda surgiu com a instalação de uma nova balança no gate de entrada do terminal. Isso exigiu a compatibilização das redes lógicas existentes, integrando-as aos novos sistemas.

Imagem 31 – Novo layout parte subterrânea



Fonte: Autoria própria

Imagem 32 – Novo layout parte com eletrocalhas



Fonte: Autoria própria

### 4.3.1 Condutores

Para a instalação elétrica, optou-se pelo uso de cabos com isolamento em HEPR (Borracha Etileno Propileno de Alto Módulo). Este tipo de cabo, embora apresente baixa resistência mecânica e reduzida resistência à propagação de chamas, possui excelentes propriedades elétricas e boa resistência térmica, sendo uma escolha adequada para a aplicação.

### 4.3.2 Dimensionamento de condutores

O dimensionamento técnico dos condutores de um circuito elétrico é um processo fundamental para garantir a segurança, a eficiência e a durabilidade da instalação. Conforme a NBR 5410:2004, item 6.2.6.1.2 (p. 113), este dimensionamento envolve a aplicação de diversos critérios normativos para a seleção da seção nominal de um condutor e do seu respectivo dispositivo de proteção. Os seis critérios da norma são:

- Capacidade de condução de corrente: Garante que os condutores e suas isolações suportem os efeitos térmicos gerados pela corrente de projeto em serviço normal, prolongado a sua vida útil;
- Queda de Tensão: Limita a variação da tensão ao longo do circuito para assegurar o funcionamento adequado dos equipamentos;
- Seção mínima: Define a menor seção permitida para garantir robustez mecânica e térmica;
- Sobrecarga: Protege os condutores contra correntes excessivas que podem causar superaquecimento;
- Curto-circuito} (conforme 5.3.5 e 6.3.4.3): Assegura que os condutores suportem as altas correntes de curto-circuito sem danos permanentes;
- Choque elétricos: Contribui para a segurança das pessoas, estabelecendo condições para a proteção contra contatos diretos e indiretos.

Para considerarmos um circuito completo e corretamente dimensionado, é necessário aplicar os seis critérios, cada podendo resultar em uma seção e

considerar como seção final a maior dentre todas as obtidas, especial atenção deve ser dispensada ao dimensionamento de condutores em circuitos onde haja a presença de harmônicos.

O critério da capacidade de condução de corrente visa garantir um vida satisfatória a condutores e isolações submetidos aos efeitos térmicos produzidos pela circulação de correntes equivalentes às suas capacidades de condução durante períodos prolongados em serviço normal.

Para determinar a seção do condutor por este critério, seguiu-se os seguintes passos principais:

#### 4.3.2.1 Dimensionamento de condutores

Com base nas informações fornecidas pelo cliente, estima-se uma demanda de potência de 60kVA, ou 55,2kW resultando em:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}.V.FP} (A) \quad (1)$$

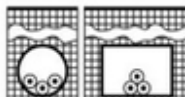
$$I = 90,9(A) \quad (2)$$

Onde I é corrente de projeto (A), P é potência ativa total do circuito (W), V é a tensão do circuito (V) e FP é o fator de potência total do circuito.

#### 4.3.2.2 Determinação do método de instalação

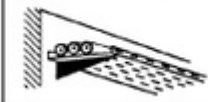
Os métodos de referência utilizados para a instalação são o Método D (Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto enterrado diretamente ou em conduto subterrâneo) e o Método F (Cabo multipolar ou condutores unipolares em eletrocalha ventilada, suspensa ou em bandeja), conforme identificado na NBR 5410.

Imagem 33 – Método D tipos de linhas elétricas

61A		Cabos unipolares em eletroduto( de seção não-circular ou não) ou em canaleta não-ventilada enterrado(a) <sup>B)</sup>	D
-----	---	---	---

Fonte: ABNT NBR 5410 (2004, p. 94).

Imagem 34 – Método F tipos de linhas elétricas

13		Cabos unipolares ou cabo multipolar em bandeja perfurada, horizontal ou vertical <sup>4)</sup>	E (multipolar) F (unipolares)
----	---	--	----------------------------------

Fonte: ABNT NBR 5410 (2004, p. 91).

#### 4.3.2.3 Capacidade de condução de corrente

Fator de correção para temperatura ( $k_1$ ): A temperatura ambiente é um fator crítico para a capacidade de condução de corrente dos cabos. Para Itajaí, SC, a temperatura média anual é de aproximadamente 20,3°C, com umidade relativa de 83,73% e precipitação anual de 1.545,3 mm (Araujo et al., 2009).

Para fins de cálculo do fator de correção para temperatura ( $k_1$ ) em instalações aéreas, será considerada uma temperatura ambiente de 25°C. Com base nas tabelas da NBR 5410 para o isolamento HEPR, o fator  $k_1$  correspondente é de 1,04.

Em relação ao trecho subterrâneo, o fator de correção para temperatura do solo será desconsiderado neste dimensionamento. Isso se deve ao fato de que os cabos passarão por eletrodutos de grandes dimensões ( $\varnothing 4''$ ), que proporcionam uma ventilação e dissipação de calor significativamente superiores quando comparados a instalações diretas no solo ou em eletrodutos de menor diâmetro. Além disso, a baixa taxa de ocupação dos eletrodutos neste trecho contribuirá para que o aquecimento dos condutores seja mínimo, dispensando a necessidade de aplicação de fatores de correção para temperatura do solo mais rigorosos.

Fator de correção para resistividade térmica do solo ( $k_2$ ): No contexto de um terminal portuário localizado próximo a um rio, o solo apresenta características de alta umidade. Solos úmidos possuem, naturalmente, valores menores de resistividade térmica em comparação com solos secos. Uma menor resistividade térmica facilita a dissipação de calor dos condutores. Consequentemente, a capacidade de condução de corrente dos cabos enterrados não é significativamente comprometida, tornando desnecessária a aplicação de fatores de correção para resistividade térmica do solo ( $k_2$ ) neste dimensionamento.

Fator de correção para agrupamento de circuitos ( $k_3$ ): Considerando que a instalação compreende apenas um circuito de alimentação, o fator de correção para agrupamento ( $k_3$ ) é igual a 1,00. Isso significa que não há redução na capacidade de condução de corrente devido ao aquecimento mútuo de condutores em múltiplos circuitos adjacentes, o que permite que a capacidade nominal do cabo seja plenamente utilizada.

#### 4.3.2.4 Cálculo da corrente de projeto corrigida

$$I_b^* = \frac{I_b}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3} \quad (A)$$

(3)

$$I_b^* = 90,9 \quad (A) \quad (4)$$

#### 4.3.3 Equação de queda de tensão

De acordo com João Mamede Filho (2017), a queda de tensão percentual em um condutor trifásico pode ser calculada pela expressão:

$$\Delta V_c = \frac{\sqrt{3} \cdot I_b \cdot (R \cdot \cos \theta + X \cdot \sin \theta)}{10 \cdot N_{cp} \cdot V_{ff}} \quad (\%) \quad (5)$$

A equação para cálculo da queda de tensão com tabelas, é dada por:

$$\Delta V\% = \frac{p \cdot I_n \cdot 100}{V} \quad (\%) \quad (6)$$

Onde  $p$  é o coeficiente de queda de tensão do cabo (V/A.km),  $I_n$  é a corrente nominal do circuito (A),  $l$  é a distância (km),  $V$  é a tensão de linha (V) e  $\Delta V\%$  é a porcentagem de queda de tensão no fim da linha (%).

Essa equação é empregada para estimar as perdas de tensão em instalações elétricas de baixa tensão. De acordo com o Guia Técnico da Prysmian (2017), o coeficiente  $p$  representa o coeficiente de queda de tensão do cabo, um valor disponibilizado em tabelas pelos próprios fabricantes.




A tabela para cálculo de queda de tensão (Imagem 35) ilustra como esse coeficiente é obtido. Para utilizá-la, deve-se selecionar o número de fases do circuito (monofásico ou trifásico), a seção do condutor e o fator de potência 0,95 correspondente, obtendo assim o valor do coeficiente  $p$  para o cálculo.

Esse coeficiente considera características como o tipo de condutor, a seção nominal, o regime de carregamento e o fator de potência. Com a utilização desse valor, torna-se possível aplicar a equação de forma prática e precisa para o dimensionamento elétrico, assegurando que a queda de tensão permaneça dentro dos limites normativos.

### Imagem 35 – Tabela para cálculo de queda de tensão

Queda de Tensão (V/A km) para Cabos HEPR 0,6/1 kV, cabos flexíveis HEPR 0,6/1 kV e Corfitox HEPR 0,6/1 kV.

Confira tabela abaixo:

MANEIRAS DE INSTALAR						
Seção nominal do condutor (mm <sup>2</sup> )	Sistema monofásico		Sistema trifásico			
						
	Fator de potência					
	0,8	0,95	0,8	0,95	0,8	0,95
1,5	23,36	27,61	20,24	23,92	20,23	23,91
2,5	14,37	16,95	12,46	14,68	12,45	14,68
4	9,31	10,74	7,82	9,17	7,79	9,16
6	6,37	7,25	5,27	6,15	5,26	6,15
10	3,98	4,45	3,44	3,87	3,38	3,82
16	2,58	2,87	2,23	2,48	2,17	2,44
25	1,72	1,87	1,48	1,62	1,42	1,56
35	1,29	1,37	1,13	1,20	1,04	1,15
50	1,02	1,05	0,86	0,91	0,80	0,87
70	0,75	0,76	0,67	0,67	0,59	0,62
95	0,61	0,58	0,52	0,51	0,45	0,47
120	0,53	0,48	0,44	0,43	0,37	0,37
150	0,45	0,44	0,40	0,37	0,33	0,33
185	0,42	0,36	0,35	0,32	0,28	0,27
240	0,36	0,30	0,31	0,27	0,24	0,23
300	0,31	0,25	0,28	0,23	0,21	0,20
400	0,29	0,22	0,25	0,20	0,20	0,18
500	0,27	0,18	0,24	0,18	0,18	0,16

#### NOTAS

1. Temperatura no condutor: 90°C.

Fonte: Corfio Cabos Elétricos (2025).

A queda de tensão entre a origem da instalação e qualquer ponto de utilização não deve ultrapassar os valores indicados na NBR 5410.

Inicialmente, o cliente não havia fornecido informações sobre a potência do novo equipamento do scanner de inspeção. Diante dessa lacuna, as medições elétricas realizadas na instalação existente foram empregadas como base para os cálculos. Considerando que essas medições abrangiam tanto o circuito do scanner, quanto o quadro que o alimenta, a sala de operação e as cinco tomadas de contêineres reefer, a queda de tensão foi calculada para diferentes seções de cabos elétricos. Medições com analisador de energia indicaram uma demanda máxima de 48,57 kVA no período de 09/10 a 14/11 logo, a corrente para esta potência é de:

$$I = 73,6(A) \quad (7)$$

Com distância de aproximadamente 330m, as quedas de tensão são:

- Cabo de 25 mm<sup>2</sup>:  $\Delta V\% = 9\%$
- Cabo de 35 mm<sup>2</sup>:  $\Delta V\% = 6,7\%$
- Cabo de 50 mm<sup>2</sup>:  $\Delta V\% = 5,05\%$
- Cabo de 70 mm<sup>2</sup>:  $\Delta V\% = 3,6\%$

Contudo, no decorrer do projeto, o cliente informou que o novo equipamento teria uma potência nominal de 60 kVA. Este valor foi, então, adotado como a potência de projeto para o dimensionamento final da infraestrutura elétrica. Com base nas informações fornecidas pelo cliente, estima-se uma demanda de potência de 60 kVA, resultando em:

$$I = 90,9(A) \quad (8)$$

Considerando essa corrente e uma distância de aproximadamente 330m, calculam-se as quedas de tensão:

- Cabo de 25 mm<sup>2</sup>:  $\Delta V\% = 12,3\%$
- Cabo de 35 mm<sup>2</sup>:  $\Delta V\% = 9,07\%$
- Cabo de 50 mm<sup>2</sup>:  $\Delta V\% = 6,7\%$
- Cabo de 70 mm<sup>2</sup>:  $\Delta V\% = 4,89\%$
- Cabo de 95 mm<sup>2</sup>:  $\Delta V\% = 3,71\%$

Para esta instalação, o cabo de 50 mm<sup>2</sup> apresenta-se como uma opção viável e economicamente vantajosa, pois a queda de tensão de 6,7% estaria dentro do limite de 7% para instalações com subestações próprias, conforme a NBR 5410. No entanto, buscando uma abordagem mais conservadora e visando maior margem de segurança operacional e flexibilidade para futuras ampliações de carga, optou-se pela adoção do cabo de 70 mm<sup>2</sup>. Esta seção garante uma queda de tensão de apenas 4,89%, situando-se abaixo do limite mais rigoroso de 4% para circuitos terminais, também previsto pela norma.

Dessa forma, a seção de 70 mm<sup>2</sup> foi adotada para os condutores de fase e neutro, e 35mm<sup>2</sup> para o condutor de proteção (PE), assegurando conformidade com as normas e preparo para o futuro. A infraestrutura subterrânea foi concebida sob um planejamento estratégico, considerando a constante expansão do terminal portuário.

O plano previu a instalação de eletrodutos adicionais no pátio de entrada do terminal. Assim, foram instalados quatro eletrodutos de Ø4", dos quais dois foram reservados para futuras ampliações.

Essa abordagem prospectiva é crucial, pois permite que, em cenários de expansão futura como a eventual necessidade de uma nova subestação mais próxima à carga, esses dutos possam ser utilizados para a passagem de cabos de média tensão. Tal previsão facilita a adaptação do sistema elétrico sem a necessidade de grandes intervenções, o que é de suma importância. Isso porque esse ramal subterrâneo se localiza em uma área de intenso tráfego de caminhões, onde novas obras civis causariam significativas perturbações operacionais.



Fonte: Autoria própria.

#### 4.3.5 Infraestrutura para os cabos

A passagem dos cabos da subestação é feita inicialmente de forma subterrânea. Após esse trecho, a instalação se torna aérea, subindo pelo muro e seguindo por meio de eletrocalhas de 300x50 mm. Essas eletrocalhas são equipadas com um septo divisório, que garante a segregação entre os cabos elétricos e os cabos de rede lógica, promovendo organização e segurança.

Para avaliar a adequação da infraestrutura, foi calculada a taxa de ocupação dos eletrodutos de PEAD (Polietileno de Alta Densidade) e das eletrocalhas.

As eletrocalhas, com dimensões de 300x50 mm, possuem um septo divisório. Isso resulta em uma área útil de 250x50 mm (12.500 mm<sup>2</sup>) para a seção elétrica e 50x50 mm (2.500 mm<sup>2</sup>) para a rede lógica. Para a seção elétrica, foram considerados quatro cabos de 70 mm<sup>2</sup> (para as fases e neutro) e um cabo terra de 35 mm<sup>2</sup>. Os diâmetros externos considerados para os cabos são de 16 mm para 70 mm<sup>2</sup> e 13 mm para 35 mm<sup>2</sup>. Considerando então as áreas úteis temos:

##### 4.3.5.1 Cabo de 70 mm<sup>2</sup>

$$A = \pi \cdot \frac{d}{2} \quad (9)$$

$$A = 201,06 \text{ mm}^2 \quad (10)$$

##### 4.3.5.2 Cabo de 35 mm<sup>2</sup>

$$A = 132,73 \text{ mm}^2 \quad (11)$$

4.3.5.2 Área total ocupada pelos cabos é de:

$$A = (4 \cdot 201,06 \text{ mm}^2) + 132,73 \text{ mm}^2 = 936,97 \text{ mm}^2 \quad (12)$$

Para as eletrocalhas, tem-se um total de 12500mm<sup>2</sup> e para o eletroduto de 4" polegadas, tem-se 7850mm<sup>2</sup>, assim então temos uma taxa de ocupação:

$$\text{Taxa de ocupação} = \frac{A_{\text{CABOS}}}{A_{\text{ELETRODUTO}}} \cdot 100 = 7,5\% \quad (13)$$

$$\text{Taxa de ocupação} = \frac{A_{\text{CABOS}}}{A_{\text{ELETRODUTO}}} \cdot 100 = 12\% \quad (14)$$

Esses valores estão significativamente abaixo do limite máximo recomendado pelas normas (geralmente entre 40\% e 50\%, conforme NBR 5410 e especificações de fabricantes). Isso indica que a instalação está adequada, com uma ampla margem para dissipação térmica e para futuras manutenções ou ampliações de carga.

Foram utilizadas 73 eletrocalhas de 300x50 mm, que serão fixadas ao muro por meio de 183 suportes tipo mão-francesa com 50 cm de comprimento. Esse tamanho foi escolhido para acomodar corretamente as dimensões das eletrocalhas e permitir desvios necessários ao longo do trajeto, especialmente nos pontos onde o muro possui colunas, assegurando assim uma instalação o mais uniforme possível.

Em determinados trechos, foi necessário realizar desvios na rota das eletrocalhas, utilizando conexões específicas para mudança de direção. Isso se deu principalmente em áreas onde postes de iluminação poderiam interferir na passagem das eletrocalhas e dificultar o acesso de escadas para manutenção. Nesses pontos, foram utilizadas duas curvas de inversão de 45° para aproximar a eletrocalha do muro, seguidas de uma peça de descida e, posteriormente, uma curva de 90°, permitindo que a eletrocalha fosse fixada com sua parte inferior voltada para o muro e seguisse em orientação vertical. Após ultrapassar o obstáculo, o trajeto retorna à orientação horizontal original.

Para a fixação das eletrocalhas, foram utilizados chumbadores tipo parabolt de 1/4". A fixação das próprias eletrocalhas foi realizada com parafusos tipo lentilha de 1/4", acompanhados de porcas e arruelas.

Cada mão-francesa foi fixada com dois chumbadores parabolt, enquanto os parafusos lentilha foram empregados tanto nas emendas das eletrocalhas com quatro unidades por emenda quanto na fixação de cada mão-francesa, com dois parafusos adicionais por suporte.

Considerando que alguns dos itens, como os chumbadores, apresentam falhas de fixação com certa frequência, foi adotada uma margem de segurança no quantitativo. Dessa forma, optou-se por adquirir os materiais em quantidade

superior, visando cobrir perdas e garantir a continuidade da instalação sem interrupções.

#### **4.3.6 Partes internas das instalações do scanner**

O projeto do novo scanner integra dois contêineres principais: um destinado à operação e outro para abrigar o equipamento de escaneamento. As instalações elétricas internas e o isolamento térmico desses contêineres já estavam completos, pois foram adquiridos de outro terminal.

Inicialmente, uma nova infraestrutura interna incluindo iluminação, tomadas e sistema de ar-condicionado havia sido planejada com base na antiga sala de operação de alvenaria do scanner anterior. Contudo, sua execução tornou-se desnecessária, pois a sala de alvenaria foi substituída por um contêiner, e esses contêineres já possuíam suas instalações prontas de fábrica. Desse modo, as únicas intervenções realizadas foram as interligações elétricas entre os dois contêineres e o fornecimento da alimentação elétrica principal para ambos.

Durante a execução do projeto, um terceiro contêiner foi incorporado para abrigar o No-Break. Assim como os demais, este contêiner já contava com seus circuitos internos prontos. A intervenção necessária limitou-se à conexão do quadro de distribuição interno, que possuía três disjuntores monofásicos (de 32 A, 20 A e 10 A) para a alimentação da iluminação, tomadas laterais e do sistema de ar-condicionado.

#### **4.3.7 Soluções para as queimas das placas**

Para mitigar a sensibilidade do scanner às variações da rede elétrica e prevenir a queima de componentes, a implementação de um Sistema de Alimentação Ininterrupta (No-Break) no circuito de alimentação é uma solução prioritária. Embora o painel elétrico do equipamento já possua um transformador isolador, este dispositivo, por si só, não oferece proteção eficaz contra distúrbios de qualidade de energia, como os afundamentos de tensão (SAGs), que foram identificados nas medições e são reconhecidos por impactar eletrônicos sensíveis. O No-Break, especialmente em topologias como a online dupla conversão, é projetado

para fornecer energia estabilizada e ininterrupta, isolando a carga de flutuações e interrupções da rede.

Adicionalmente, a implementação de uma malha de aterramento eficiente é crucial. Tal medida contribui significativamente para a estabilidade elétrica do sistema e para a proteção dos componentes sensíveis, dissipando correntes de falta e surtos. Esta solução se torna ainda mais relevante considerando os registros de queimas de componentes após períodos de chuvas intensas, que frequentemente provocam instabilidades na rede elétrica fornecida pela concessionária, incluindo surtos de tensão associados a descargas atmosféricas. Um sistema de aterramento robusto, em conformidade com as normas vigentes, é a base para a segurança elétrica e a longevidade dos equipamentos.

#### 4.4 QUADRO ELÉTRICO ALIMENTAÇÃO SCANNER

A alimentação do quadro elétrico principal será realizada por condutores de 70 mm<sup>2</sup>, conectados a um disjuntor geral de 125 A.

Internamente, um barramento de cobre garantirá a distribuição eficiente da energia para os diversos circuitos. Visando aprimorar a qualidade de energia fornecida ao scanner, um disjuntor de caixa moldada de 100 A será destinado exclusivamente à alimentação do No-Break. Este No-Break, então, será responsável por energizar o quadro elétrico, de onde migra a alimentação para o scanner. Para situações de manutenção do No-Break que exijam intervenção por um profissional habilitado, foi implementado um esquema de bypass.

Este esquema, composto por um disjuntor adicional de 100 A, permitirá a alimentação direta do scanner, assegurando a continuidade das operações e minimizando o tempo de inatividade do equipamento.

#### 4.5 QUADRO ELÉTRICO DAS TOMADAS DE CONTÊINERES REEFER

Será instalado um novo painel destinado exclusivamente às tomadas de contêiner reefer, com o objetivo de utilizar o circuito já existente de forma segura e controlada. Esse painel contará com um controlador de demanda, que irá gerenciar o uso das tomadas de acordo com a carga disponível, limitando a ativação das tomadas conforme a demanda do sistema. Dessa forma, garante-se que o circuito

atual, que será dedicado exclusivamente às tomadas reefer, opere dentro de sua capacidade segura. A imagem ilustra o painel atual, que possuía capacidade para apenas cinco tomadas de contêiner reefer.

Imagem 37 – Quadro antigo das tomadas dos contêineres reefer



Fonte: Autoria própria

O circuito existente é alimentado a partir de um quadro geral localizado no escritório, contado com duas fases com cabos de  $2 \times 50 \text{ mm}^2$  e uma fase com cabo  $1 \times 70 \text{ mm}^2$ . O novo quadro será instalado em um muro existente, e contará com uma estrutura tipo cabine, que incluirá:

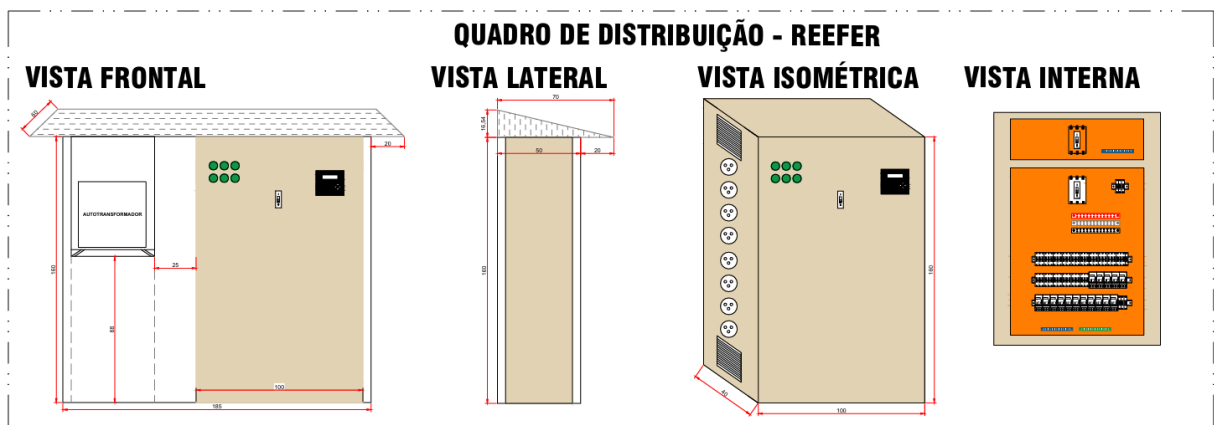
- Cobertura metálica com telha de zinco galvanizado, fixada com parafusos e rebites resistentes à corrosão;
- Aplicação de silicone ou massa vedante nas junções da telha, para prevenir infiltrações;
- Pingadeira com inclinação de  $15^\circ$ , com comprimento total de 1 metro e projeção de 20 cm à frente do quadro (que possui 40 cm de profundidade), garantindo a proteção contra respingos e água da chuva;

- Aterramento da estrutura metálica, visando a segurança contra choques elétricos.

Além disso, será instalado um autotransformador junto à estrutura, com distância de 25 cm em relação ao quadro elétrico. Esse espaçamento foi planejado para permitir um manuseio seguro durante operações e manutenções, bem como a instalação adequada dos plugues e tomadas sem obstruções. O autotransformador será responsável por elevar a tensão para as tomadas reefer de 380/220 V para 440/254 V, utilizadas por contêineres refrigerados, cujas potências típicas variam entre 7 kVA e 15 kVA. O sistema contará com 16 tomadas reefer no total.

Para garantir ventilação adequada e proteção contra intempéries, as laterais da estrutura serão fechadas com chapas venezianas, que permitem a dissipação do calor sem comprometer a proteção contra a chuva.

Imagem 38 – Quadro das tomadas dos contêineres reefer projetado



Fonte: Autoria própria

#### 4.6 ORÇAMENTO

Para a infraestrutura elétrica, foram realizados orçamentos referentes aos cabos que compõem a alimentação do scanner, bem como à estrutura de eletrocalhas utilizadas na instalação. Essa etapa representa uma parte essencial de todo o projeto. Por isso, foram solicitadas cotações junto a cinco fabricantes de eletrocalhas. Optou-se pela eletrocalha fabricada em chapa 18, com virola e galvanização a fogo, considerando que a instalação ficará exposta às intempéries, exigindo maior resistência à corrosão e durabilidade.

O custo total estimado para os cabos foi de R\$ 87.698,17, enquanto o material da estrutura (eletrocalhas e acessórios) somou R\$ 44.955,56, resultando em um investimento total de R\$ 132.653,73. Esse valor não contempla os custos com mão de obra, que serão orçados separadamente, conforme a complexidade da instalação, e nem a parte subterrânea na qual ficou a cargo da parte civil.

Tabela 1 – Materiais utilizados e suas respectivas quantidades

Descrição	Quant.
Cabo Flex 1kV EPR (Vermelho) - 70 mm <sup>2</sup>	330 m
Cabo Flex 1kV EPR (Branco) - 70 mm <sup>2</sup>	330 m
Cabo Flex 1kV EPR (Preto) - 70 mm <sup>2</sup>	330 m
Cabo Flex 1kV EPR (Azul) - 70 mm <sup>2</sup>	330 m
Cabo Flex 1kV EPR (Verde) - 35 mm <sup>2</sup>	330 m
Calha perfurada com virola 300x50 mm - GF - CH 18	74 un
Tampa para calha 300x50 mm - GF - CH 18	74 un
Emenda Interna U - GF - CH 18	84 un
Curva de Inversão perfurada com virola 300x50 mm - GF - CH 18	4 un
Curva horizontal 90° perfurada com virola 300x50 mm - GF - CH 18	5 un
Te vertical descida lateral perfurado com virola 300x50 mm - GF - CH 18	6 un
Mão francesa reforçada 50cm - GF - CH 18	185 un
Parafuso lentilha fenda 1/4x1/2	1000 un
Porca sextavada 1/4 GE	1000 un
Arruela lisa 1/4 GE	1000 un
Terminal olhal compressão 70 mm <sup>2</sup>	12 un
Terminal olhal compressão 35 mm <sup>2</sup>	4 un
Haste de aterramento alta camada 2400mm, Ø5/8"	6 un
Cabo de cobre nú - 35 mm <sup>2</sup>	15 m

Fonte: Autoria própria

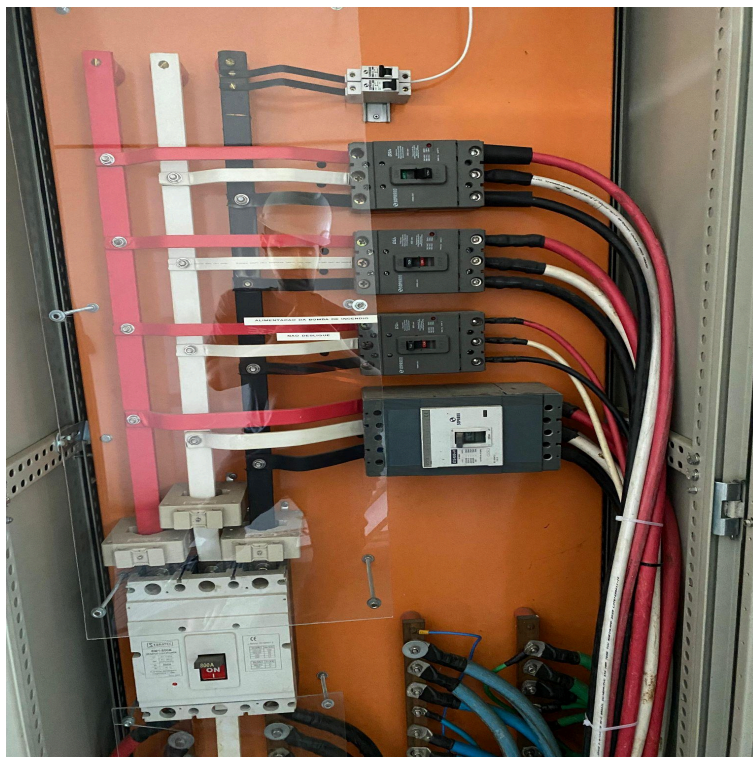
Para o quadro elétrico, não foi elaborada uma lista específica de materiais, pois sua aquisição foi realizada por meio de um pacote fechado previamente negociado. Dessa forma, foram utilizados componentes já disponíveis na oficina, eliminando a necessidade de compra de novos itens para esse fim. A montagem seguiu o diagrama unifilar e as orientações técnicas fornecidas.

Quanto a alguns materiais, como as luminárias instaladas no contêiner de operação, estas foram adquiridas conforme a demanda durante a execução, visto que os circuitos internos de iluminação e força já estavam previamente instalados, porém sem as luminárias propriamente ditas.

#### 4.7 ESTRUTURAS EXECUTADAS

O quadro elétrico, responsável pela alimentação do scanner, é suprido pelo Quadro de Transferência Automática (QTA), que alimenta o quadro QGBT Máquinas, a conexão é feita diretamente a um disjuntor de caixa moldada de 125 A, utilizando cabos de 70 mm<sup>2</sup> para cada fase. Os barramentos de neutro e terra são conectados com cabos de 70 mm<sup>2</sup> e 35 mm<sup>2</sup>, respectivamente.

Imagem 39 – Quadro subestação, alimentação do scanner



Fonte: Autoria própria

Para a alimentação até o quadro elétrico que é alimentado pelo quadro de transferência automática (QTA) do gerador, foi concebida uma passagem no nível do piso. Nesta infraestrutura, o cabo principal, que provém de uma caixa subterrânea, é conduzido de forma protegida por uma eletrocalha até sua conexão com um disjuntor de caixa moldada de 125 A.

Imagem 40 – Passagem em eletrocalha no chão



Fonte: Aatoria própria

A Figura 41 ilustra a eletrocalha de 300x50 mm já instalada, conforme o projeto. É possível observar a fixação da estrutura nas mãos-francesas reforçadas de 50 cm, garantindo o suporte e a organização dos cabos ao longo do trajeto aéreo. A imagem evidencia a robustez da montagem, essencial para a segurança e a durabilidade da instalação elétrica no ambiente portuário.

Imagem 41 – Eletrocalha fixada ao muro



Fonte: Autoria própria

Desvio feito devido à limites físicos, aos quais impossibilitariam a manutenção dos postes de iluminação, se a eletrocalha seguisse na horizontal, ao qual ocuparia um espaço aproximadamente 45 cm, não havendo espaço suficiente para a utilização da escada, portanto esse desvio possibilitou a continuidade da infraestrutura elétrica, sem prejudicar estruturas já existentes.

Imagem 42 – Desvio devido aos postes



Fonte: Autoria própria

O desvio projetado garantiu o acesso aos postes de iluminação. Em alguns pontos onde havia câmeras de segurança foi preciso alterar a fixação e altura desses equipamentos, visto que estavam no mesmo nível da passagem da eletrocalha.

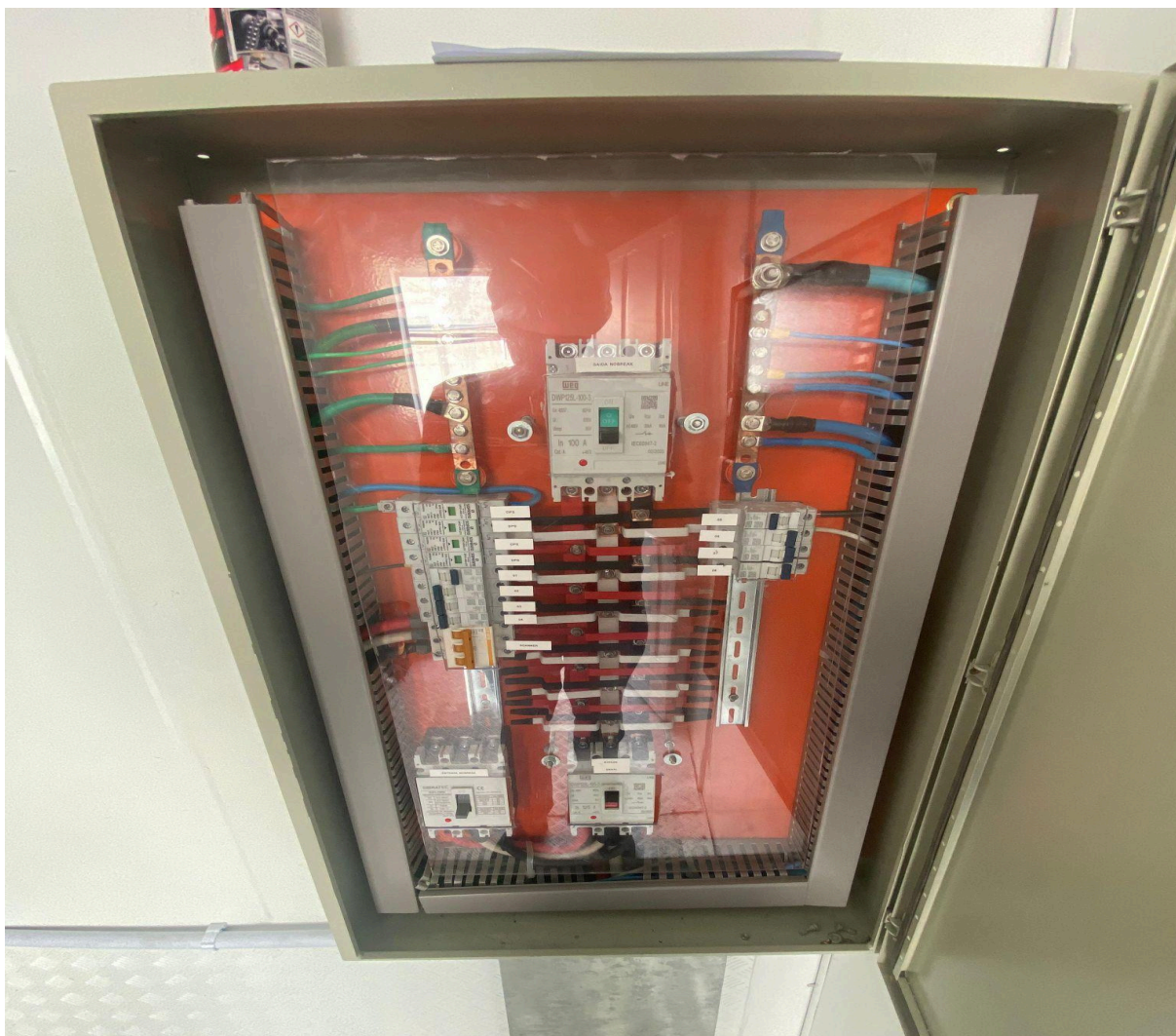
Imagem 43 – Descida eletrocalha para subterrâneo



Fonte: Autoria própria

A transição do circuito, da eletrocalha para o quadro interno no contêiner que abrigará o No-Break, foi realizada de forma subterrânea. Nesse trecho de descida, o cabeamento elétrico é conduzido por eletrocalha, enquanto a parte lógica segue por eletroduto galvanizado.

Imagem 44 – QD Scanner

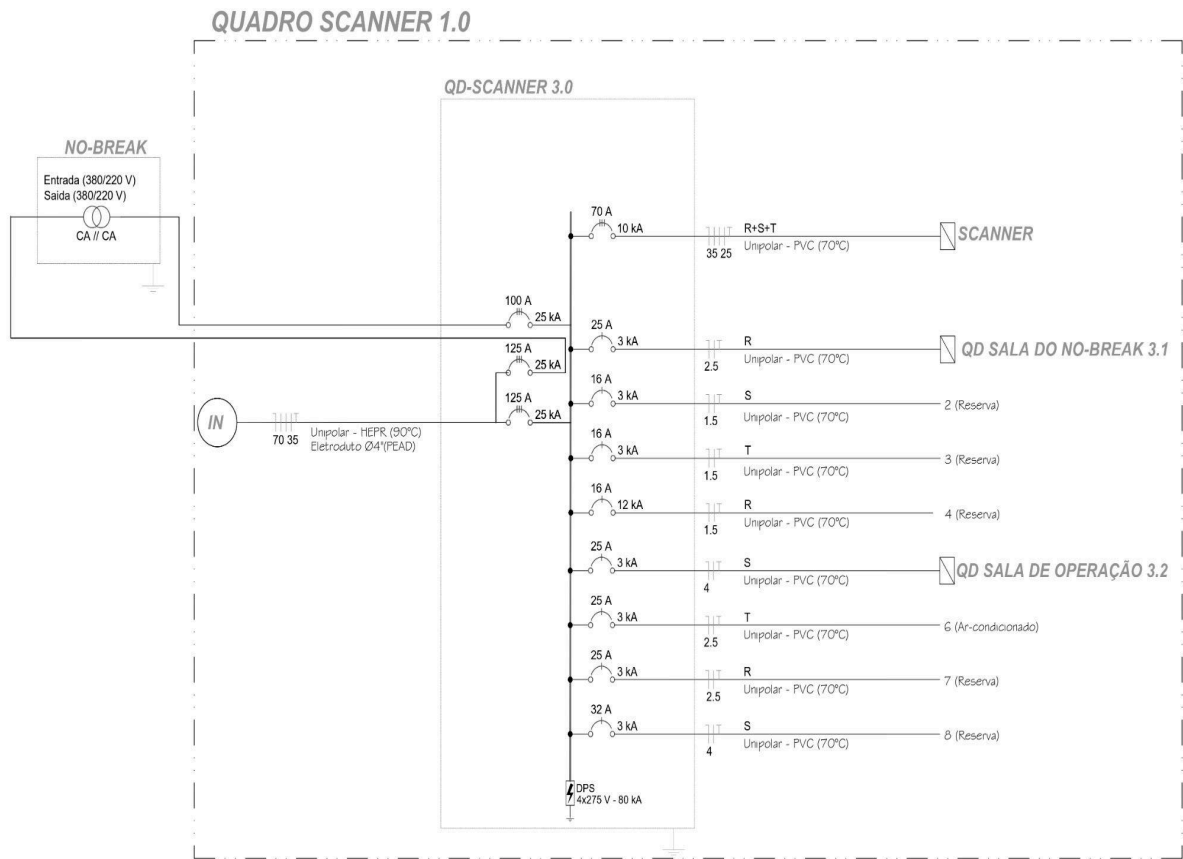


Fonte: Autoria própria

O quadro elétrico apresenta uma configuração não convencional com dois disjuntores de entrada interligados. Um dos disjuntores, identificado por um jumper em sua entrada, está configurado para alimentar o No-Break. O disjuntor de caixa moldada de 100 A, posicionado na parte superior do quadro, serve como saída do No-Break, suprindo o barramento principal.

A alimentação para o scanner é realizada por um disjuntor DIN de 70 A, conectado ao barramento lateral esquerdo. Além disso, o quadro dispõe de dois disjuntores monofásicos, responsáveis por alimentar a iluminação, tomadas e o sistema de ar-condicionado dos dois contêineres.

Imagem 45 – Diagrama unifilar QD Scanner



Fonte: Autoria própria

Embora funcional, esta instalação não atende aos padrões ideais de segurança e redundância, principalmente pela ausência de intertravamentos para prevenir erros de manuseio. Contudo, essa configuração foi implementada para atender a uma necessidade crítica que surgiu durante o projeto: garantir o fornecimento contínuo de energia ao scanner. Esse arranjo permite que o scanner seja alimentado diretamente em modo bypass durante manutenções no No-Break, assegurando a ininterruptão das operações de fiscalização portuária.

O projeto final prevê a instalação de dois contêineres distintos: um servirá como ambiente para o No-Break e servidores, garantindo a estabilidade e o processamento de dados do sistema; o outro será a área de operação para a equipe de fiscalização de contêineres portuários.

Imagem 46 – Interligação entre container de operação e No-break



Fonte: Autoria própria

A passagem subterrânea, que interliga os dois contêineres, contará com dois eletrodutos de Ø4", um destinado à alimentação elétrica e o outro para os cabos de comando e comunicação do scanner, ambos alimentando o contêiner de operação do scanner.

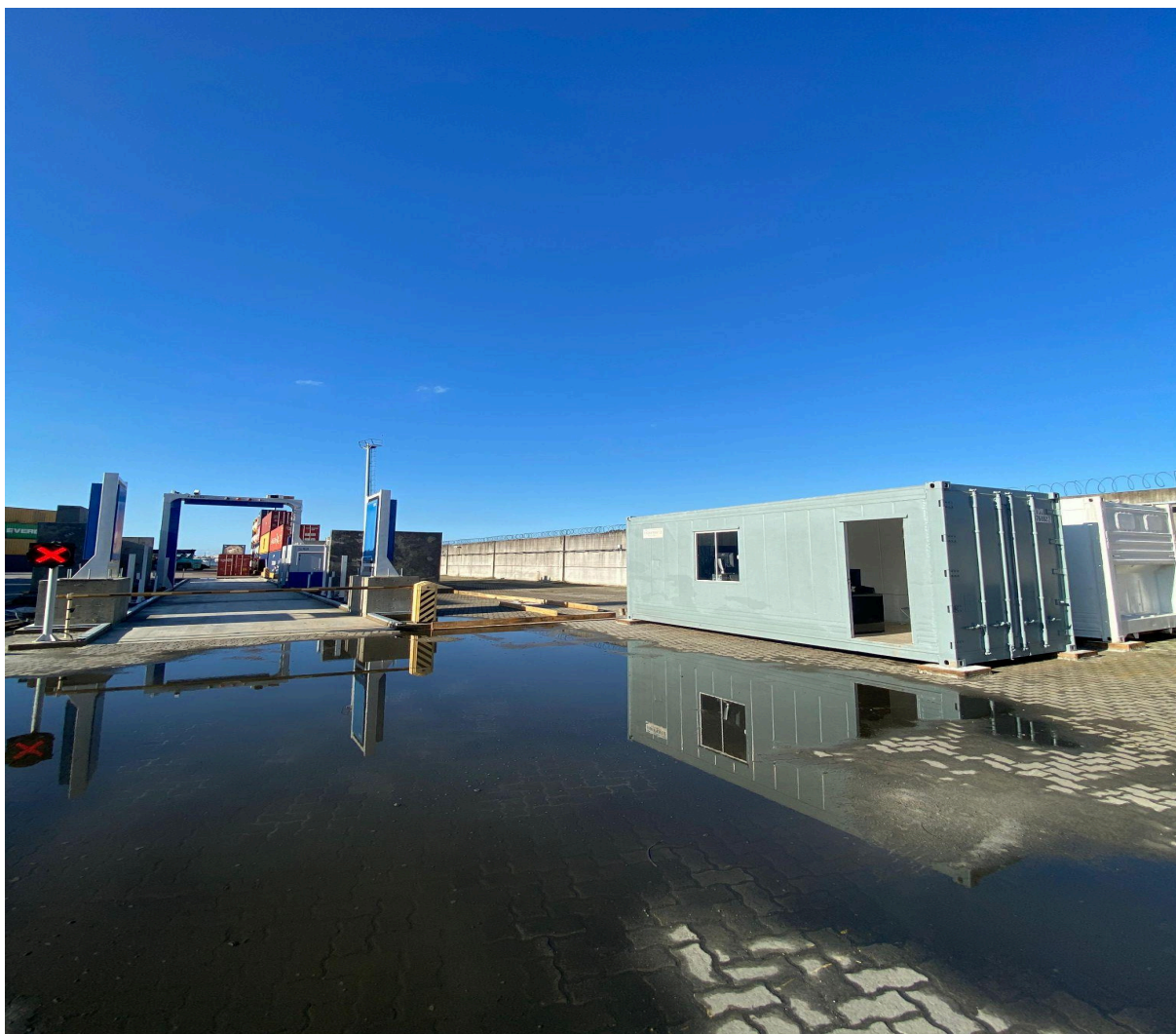
Imagem 47 – Passagem subterrânea da alimentação e lógica do scanner



Fonte: Autoria própria

Na imagem 47, é possível observar os dois contêineres: o contêiner branco, que abriga o QD scanner e o No-Break, e o contêiner verde, destinado à operação do scanner. No mesmo ângulo da fotografia, é visível a passagem subterrânea que conduz os cabos elétricos e lógicos para o scanner.

## Imagem 48 – Fase de implementação do scanner



Fonte: Autoria própria

Ao final da instalação, foi realizada uma medição das tensões de fase que alimentam o quadro. O valor obtido foi de aproximadamente 225 V. Esse dado corrobora a informação do eletricitista responsável pela verificação, indicando que, com as cargas operando, a tensão deve se estabilizar em torno de 220 V. Este resultado confirma que a alimentação está dentro dos parâmetros esperados para o correto funcionamento do sistema.

A instalação elétrica, agora concluída em suas diversas etapas, desde a infraestrutura subterrânea e aérea até a montagem e interligação dos contêineres do scanner e do No-Break, reflete o empenho em fornecer uma solução robusta e confiável.

## 4.8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O projeto da nova instalação elétrica para o scanner de fiscalização de contêineres representa uma evolução significativa em relação ao sistema anterior, buscando não apenas a substituição do equipamento, mas a proativa mitigação dos problemas que comprometiam a operação do terminal portuário. Com base no diagnóstico inicial das falhas e nas medições de qualidade de energia, as soluções implementadas visam aprimorar a confiabilidade, a segurança e a eficiência do sistema elétrico como um todo.

É importante salientar que, apesar das medições terem revelado o perfil de carga e a ocorrência de distúrbios de tensão, a identificação de uma causa única e exata para a queima das placas eletrônicas no scanner existente não foi possível. Essa limitação no diagnóstico exato, comum em ambientes operacionais complexos e críticos, onde a captura de eventos intermitentes é um desafio, não desqualifica a pesquisa. Pelo contrário, ela reforça a necessidade e a validade da abordagem preventiva adotada no projeto da nova instalação. Ao invés de buscar uma correção pontual de um problema não completamente decifrado, o foco foi em implementar um sistema robusto que mitigasse proativamente uma gama de possíveis vulnerabilidades de qualidade de energia e outros fatores elétricos, assegurando a confiabilidade e longevidade do novo equipamento.

Um dos principais problemas enfrentados no scanner antigo era a queima recorrente de placas eletrônicas, atribuída a distúrbios na rede elétrica, como afundamentos de tensão. A implementação de um Sistema de Alimentação Ininterrupta (No-Break) no circuito de comando do novo scanner é a proposta central para mistigar este desafio. Essa tecnologia, especialmente em topologias como a online dupla conversão, é projetada para fornecer energia estabilizada e isolada de flutuações e interrupções, protegendo os componentes eletrônicos sensíveis e prolongando sua vida útil. A inclusão de um

esquema de bypass para o No-Break assegura a continuidade operacional do scanner mesmo durante manutenções, minimizando o tempo de inatividade.

Adicionalmente, a instalação de uma malha de aterramento eficiente contribuirá substancialmente para a estabilidade elétrica do sistema e a proteção contra surtos, que podem ser exacerbados em ambientes expostos a intempéries, como terminais portuários. Essa medida é fundamental para dissipar correntes de

falta e surtos, protegendo os componentes sensíveis do equipamento e reforçando a segurança da instalação, conforme diretrizes da NBR 5410.

Em termos de infraestrutura, o dimensionamento dos condutores baseado em critérios rigorosos da NBR 5410 – considerando capacidade de condução, queda de tensão (com a escolha do cabo de 70 mm<sup>2</sup> para maior margem de segurança ) e fatores de correção – assegura que o novo sistema suporte a demanda sem sobrecargas ou perdas excessivas. A estratégia de segregação de cabos elétricos e lógicos em eletrocalhas com septo divisório e o uso de eletrodutos de grande diâmetro com baixa taxa de ocupação contribuem para a

dissipação térmica e facilitam futuras manutenções e ampliações, elementos que não foram devidamente atendidos na instalação anterior.

Por fim, a adaptação do circuito antigo para tomadas reefer com ampliação de capacidade e controle de demanda otimiza a infraestrutura existente, transformando um ativo preexistente em uma solução para uma nova demanda operacional do terminal. Este planejamento demonstra uma abordagem holística para a infraestrutura elétrica, antecipando necessidades futuras e garantindo a resiliência do sistema em um ambiente de constante expansão. As melhorias propostas, portanto, não apenas corrigem vulnerabilidades passadas, mas estabelecem um novo padrão de confiabilidade e eficiência para as operações do terminal.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou compreender as causas recorrentes da queima de placas eletrônicas em um scanner portuário e propor soluções preventivas de caráter elétrico e estrutural. As medições realizadas com analisadores Fluke 1744 permitiram mapear o perfil de consumo do equipamento e identificar eventos relevantes na tensão, os quais, embora nem sempre ultrapassem os limites regulamentares do PRODIST/ANEEL, configuram potenciais gatilhos para a falha de componentes eletrônicos sensíveis.

A análise evidenciou que a dificuldade de capturar os distúrbios exatamente no momento das falhas limita a determinação de uma causa única. Assim, a ausência de registros diretos não invalida a necessidade de soluções preventivas, mas sim fortalece a adoção de medidas mais robustas de proteção.

O projeto de substituição do scanner, com novo dimensionamento de cabos conforme a NBR 5410, implementação de DPS, malha de aterramento reforçada e instalação de um sistema UPS online de dupla conversão, representa uma solução de engenharia consistente. Tais medidas não apenas elevam a confiabilidade do equipamento, mas também reduzem significativamente os custos decorrentes das falhas considerando-se que cada placa substituída possui valor aproximado de R\$ 20.000,00.

Do ponto de vista acadêmico, o trabalho contribui ao aplicar conceitos de qualidade de energia em um caso real de alta relevância operacional. Do ponto de vista prático, fornece à empresa contratante um projeto viável e tecnicamente fundamentado para assegurar a continuidade das inspeções portuárias.

Reconhece-se, contudo, que o estudo apresenta limitações: a impossibilidade de correlacionar diretamente cada falha com um evento registrado e a ausência de acesso a diagramas técnicos detalhados do scanner. Sugere-se, como continuidade, a realização de campanhas de medição com amostragem de alta velocidade, ensaios laboratoriais de imunidade eletromagnética e análise de confiabilidade dos sistemas eletrônicos internos do scanner.

Conclui-se, portanto, que a mitigação da queima recorrente das placas depende não apenas do projeto elétrico adequado, mas da integração entre diagnóstico contínuo, manutenção preventiva e aplicação de soluções normativas e tecnológicas. Dessa forma, este trabalho oferece subsídios técnicos sólidos para a

melhoria da eficiência e da confiabilidade de sistemas de fiscalização portuária, contribuindo tanto para o avanço da engenharia elétrica aplicada quanto para a segurança das operações comerciais internacionais.

## REFERÊNCIAS

- ABBAS, A. **Proteção de sistemas elétricos**. São Paulo: Editora Elétrica, 2018.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ALEXANDER, C. K.; SADIKU, M. N. O. **Fundamentos de circuitos elétricos**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.
- ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) - Módulo 8: Qualidade da Energia Elétrica**. 2018. Resolução Normativa ANEEL n.º 876, de 03 de setembro de 2018.
- ARAUJO, S. A. et al. **Climatologia do ecossistema Saco da Fazenda, Itajaí, SC**. In: BRANCO, J. O.; LUNARDON-BRANCO, M. J.; BELLOTTO, V. R. (Ed.). *Estuário do Rio Itajaí-Açu, Santa Catarina: caracterização ambiental e alterações antrópicas*. Itajaí, SC: Editora UNIVALI, 2009. p. 43–62.
- ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Thermal guidelines for data processing environments**. Atlanta: ASHRAE, 2019.
- BOHRER, C. G. **A responsabilidade civil do Estado na atividade portuária**. *Revista Internacional de Direito e Cidadania (RIDB)*, Lisboa, v. 2, n. 2, p. 939–966, 2013.
- CORFIO CABOS ELÉTRICOS. **Tabela 18 – Queda de tensão (V/A·km)**. 2025. Disponível em: <https://www.corfio.com.br/pt/area-tecnica/tabela-18>. Acesso em: 30 maio 2025.
- FILHO, G. B. **Dicionário de termos de manutenção, confiabilidade e qualidade**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2006.
- GROSS, C. A. **Power system analysis**. 3. ed. New York: Wiley, 2017.
- GURGEL, A. **Proteção de sistemas elétricos**. São Paulo: Érica, 2018.
- IEC, C. E. I. **Dispositivos de proteção contra surtos - Parte 11: Requisitos de desempenho e métodos de ensaio para dispositivos de proteção contra surtos (SPDs) conectados a sistemas de energia de baixa tensão**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2011. (ABNT NBR IEC 61643-11).
- IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers. **IEEE Standard for Electrical Safety in the Workplace**. New York: IEEE, 2020.
- MAMEDE FILHO, J. **Instalações elétricas industriais**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MENDES, R. et al. **Manutenção de sistemas elétricos industriais**. São Paulo: Editora Técnica, 2020.

MONTGOMERY, D. **Reliability engineering and risk analysis**. New York: Wiley, 2017.

PRYSMIAN. **Guia de Dimensionamento de Cabos para Baixa Tensão**. 9. ed. São Paulo: Prysmian, 2017.