

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**FELIPE YUICHI TANOYE  
GUILHERME HENRIQUE DE OLIVEIRA  
JHONATAN JANUÁRIO FONTE**

**PESQUISA DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE  
CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS NO MÓDULO DE ENSAIO DE  
MÁQUINAS CA AZEHEB**

**CURITIBA  
2025**

**FELIPE YUICHI TANOYE  
GUILHERME HENRIQUE DE OLIVEIRA  
JHONATAN JANUÁRIO FONTE**

**PESQUISA DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE  
CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS NO MÓDULO DE ENSAIO DE  
MÁQUINAS CA AZEHEB**

**TECHNICAL FEASIBILITY RESEARCH FOR IMPLEMENTATION OF  
PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS IN THE AZEHEB AC MACHINE TEST  
MODULE**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Elétrica do curso de  
Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Msc. Eng. Vilmair Ermenio Wirmond

Co-orientador: Prof. Msc. Eng. Ednilson Soares Maciel

**CURITIBA**

**2025**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**FELIPE YUICHI TANOYE**  
**GUILHERME HENRIQUE DE OLIVEIRA**  
**JHONATAN JANUÁRIO FONTE**

**PESQUISA DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE  
CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS NO MÓDULO DE ENSAIO DE  
MÁQUINAS CA AZEHEB**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Elétrica do curso de  
Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 28/Novembro/2025

---

Vilmair Ermenio Wirmond  
Mestrado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Ednilson Soares Maciel  
Mestrado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Daniel Balieiro Silva  
Mestrado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CURITIBA**  
**2025**

Dedico este trabalho às nossas famílias, e  
principalmente a nós mesmos, pela coragem e  
perseverança.

## **AGRADECIMENTOS**

Dedicamos este trabalho à nossa família, por todo o amor, carinho e apoio constantes ao longo desta jornada, e por ter sido um pilar fundamental para vencermos cada um dos desafios.

Aos amigos, por todo o incentivo, apoio, compreensão e, principalmente, pela amizade que nos fortalece e nos motiva a seguir sempre em frente.

Aos respeitáveis professores, pelo constante apoio, orientação, sabedoria e paciência ao longo de toda esta jornada, compartilhando valiosos conhecimentos e sendo protagonistas do nosso crescimento acadêmico e pessoal.

Este trabalho é o resultado do apoio, da confiança e do incentivo de todos que, de alguma forma, marcaram esta jornada e acreditaram no nosso potencial. A cada um, expressamos nosso sincero e profundo agradecimento.

"A ciência é apenas uma perversão de si mesma,  
a menos que tenha como fim último a melhoria da  
humanidade."  
(TESLA; NIKOLA, 1900).

## RESUMO

No passado, a lógica de comando e proteção de motores elétricos dependia de uma complexa associação de relés, chaves, temporizadores e cabos, resultando em sistemas robustos e volumosos que ocupavam grande espaço nos painéis elétricos. Esse cenário impactava negativamente várias características, como a seletividade de proteção, devido aos diferentes tempos de acionamento dos dispositivos, e a segurança na operação, pois as cargas motorizadas envolviam alta energia, especialmente durante as partidas. Além disso, a predominância de sistemas analógicos impedia a obtenção de dados em tempo real. A dificuldade em criar uma lógica eficaz para os relés motivou avanços no controle e na automação, culminando com a invenção do Controlador Lógico Programável (CLP) pela General Motors nos anos 60. O CLP revolucionou o controle de sistemas industriais, possibilitando maior eficiência, organização e integração com sistemas de supervisão e análise de dados. No contexto atual, o CLP é essencial para a automação de processos industriais. Este estudo propõe a implementação de um CLP no painel CA AZEHEB da UTFPR, localizado na sala CC-006, que simula a geração de energia por meio de três sistemas motor-gerador independentes. A pesquisa visa justificar a escolha de um CLP para controlar esse módulo didático, permitindo a transição de um modo de operação local para remoto, facilitando o controle e proporcionando maior segurança operacional. A investigação abrange a análise de diferentes CLP's disponíveis no mercado, considerando especificações técnicas e custo-benefício, além de identificar os materiais necessários para integrar os novos componentes ao painel existente, sem comprometer sua estrutura elétrica. Ao final, espera-se que o projeto não apenas viabilize a implementação do CLP, mas também sirva como referência para futuras iniciativas de automação e modernização na UTFPR, promovendo maior contato dos estudantes com tecnologias avançadas e melhorando a eficiência operacional dos equipamentos didáticos.

Palavras-chave: Controlador Lógico Programável; Painel Elétrico; Automação; Retrofit.

## **ABSTRACT**

In the past, controlling and protecting electric motors required a complex setup of relays, switches, timers, and wiring, leading to systems that were bulky and took up a lot of space in electrical panels. This setup often caused issues, like poor protection selectivity due to the varying activation times of devices, and safety concerns, especially because motor loads required a lot of energy during startup. Additionally, the analog nature of these systems made it difficult to get real-time data. The challenges in creating effective relay logic led to advancements in control and automation, eventually resulting in the invention of the Programmable Logic Controller (PLC) by General Motors in the 1960s. The PLC revolutionized industrial system control, making it more efficient, organized, and integrated with supervisory and data analysis systems. Today, PLCs are crucial for automating industrial processes. This study proposes implementing a PLC in the CA AZEHEB panel at UTFPR, located in room CC-006, which simulates power generation through three independent motor-generator systems. The research aims to justify choosing a PLC to control this educational setup, enabling the shift from local to remote operation, making control easier and improving safety. The study will analyze different PLCs available on the market, looking at their technical specs and cost-effectiveness, and also identify the materials needed to integrate new components into the existing panel without affecting its electrical structure. Ultimately, the project aims to not only implement the PLC but also serve as a reference for future automation and modernization projects at UTFPR, giving students more hands-on experience with advanced technology and enhancing the efficiency of educational equipment.

**Keywords:** Programmable Logic Controllers; Electric Panel; Automation; Retrofit.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 – Módulo de Ensaio de Máquinas CA AZEHEB</b>	<b>15</b>
<b>Figura 2 – Rotor de Polos Lisos</b>	<b>20</b>
<b>Figura 3 – Rotor de Polos Salientes</b>	<b>20</b>
<b>Figura 4 – Anéis Coletores</b>	<b>21</b>
<b>Figura 5 – Rotor com excitatriz e sem escova</b>	<b>22</b>
<b>Figura 6 – Diagrama de blocos dos componentes</b>	<b>24</b>
<b>Figura 7 – Diagrama de ligação de transistores de potência em um bloco inversor</b>	<b>25</b>
<b>Figura 8 - Painel de controle baseado em CLP</b>	<b>31</b>
<b>Figura 9 - Definição da IEC 61131-3 para Linguagens de Programação do CLP</b>	<b>34</b>
<b>Figura 10 - Estrutura da Linguagem Ladder</b>	<b>35</b>
<b>Figura 11 - Fluxo reverso no contato D e sua reconstrução da lógica</b>	<b>35</b>
<b>Figura 12 - Repetição de contatos</b>	<b>36</b>
<b>Figura 13 - Bobinas auxiliares</b>	<b>36</b>
<b>Figura 14 - Endereçamento de entradas e saídas</b>	<b>37</b>
<b>Figura 15 – Formato de dados da rede Modbus RTU</b>	<b>39</b>
<b>Figura 16 – Rede de comunicação entre os multimedidores Kron Mult-K</b>	<b>41</b>
<b>Figura 17 – Botão alternador de modo local para remoto</b>	<b>45</b>
<b>Figura 18 – Uso do relé para alternar a alimentação dos botões físicos</b>	<b>46</b>
<b>Figura 19 – Uso de relés para ativação do inversor de frequência pelo CLP</b>	<b>47</b>
<b>Figura 20 – Alimentação 24Vcc do novo painel</b>	<b>48</b>
<b>Figura 21 – Layout do novo painel</b>	<b>49</b>
<b>Figura 22 A – Arquitetura de rede Profinet</b>	<b>50</b>
<b>Figura 22 B – Arquitetura do rack</b>	<b>51</b>
<b>Figura 23 – Visão geral do software desenvolvido</b>	<b>52</b>
<b>Figura 24 – Sequenciamento dos escravos</b>	<b>54</b>
<b>Figura 25 – Interfaces Humano-Máquina dos inversores de frequência</b>	<b>55</b>
<b>Figura 26 – Interfaces Humano-Máquina dos acionamentos de cargas</b>	<b>55</b>
<b>Figura 27 – Interfaces Humano-Máquina dos Multimedidores Mult-K</b>	<b>56</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CMOS	<i>Complementary Metal-Oxide-Semiconductor</i>
EEPROM	<i>Electrical-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
E/S	Entrada/Saída
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IGBT	<i>Insulated-Gate Bipolar Transistor</i>
NBR	Normas Brasileiras
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
TRIAC	<i>Triode for Alternating Current</i>
UFMS	Universidade Federal do Mato Grosso do Sul
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Corrente Elétrica em Ampères
Gi	<i>Gigabinary</i>
Ki	<i>Kilobinary</i>
Km	Quilômetro
Mi	<i>Megabinary</i>
T	Temperatura
Ti	<i>Terabinary</i>
Psi	Pressão
V	Tensão Elétrica em Volts
Vcc	Tensão Elétrica Contínua

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	Tema.....	13
1.2	Delimitação do tema .....	14
1.3	Objetivos .....	15
1.4	Justificativa.....	16
1.5	Metodologia da Pesquisa .....	16
1.6	Estrutura do trabalho .....	18
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL SOBRE MÁQUINAS SÍNCRONAS .....</b>	<b>20</b>
2.2	Conceitos básicos dos geradores síncronos .....	20
2.3	Comportamento do gerador síncrono sob cargas variadas.....	23
2.4	Considerações sobre o capítulo .....	24
<b>3</b>	<b>ACIONAMENTO ELETRÔNICO DE MOTORES UTILIZANDO INVERSOR DE FREQUÊNCIA.....</b>	<b>25</b>
3.1	Introdução.....	25
3.2	Conceitos fundamentais de um inversor de frequência .....	25
3.3	Princípio de funcionamento de um inversor de frequência .....	25
3.4	Modulação PWM.....	26
3.5	Tipos de controle .....	27
3.6	Características de operação e aplicações práticas.....	29
3.7	Considerações sobre o capítulo .....	29
<b>4</b>	<b>CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS .....</b>	<b>31</b>
4.1	Introdução.....	31
4.2	Conceitos fundamentais dos controladores lógicos programáveis.....	31
4.3	Linguagem de programação .....	33
4.4	Linguagem Ladder .....	35
4.5	Considerações sobre o capítulo .....	38
<b>5</b>	<b>REDE DE COMUNICAÇÃO MODBUS RS485.....</b>	<b>39</b>
5.1	Introdução.....	39
5.2	Funcionamento e modos de transmissão: RTU (Remote Terminal Unit) e ASCII.....	39
5.3	Tipos de ModBus (RTU, ASCII, TCP) .....	39
5.4	Estrutura da mensagem .....	40
5.5	O meio físico RS-485.....	41
5.6	Estudo de caso: Aplicação no painel AZEHEB .....	41
5.7	Considerações do capítulo.....	42

<b>6</b>	<b>DETALHAMENTO DO PAINEL AZEHEB .....</b>	<b>43</b>
6.1	Introdução.....	43
6.2	Finalidade do painel.....	43
6.3	Operação do painel.....	44
<b>7</b>	<b>RETROFIT E DESENVOLVIMENTO DO NOVO SISTEMA DE CONTROLE ....</b>	<b>45</b>
7.1	Introdução.....	45
7.2	Modificações do projeto elétrico .....	45
7.3	Projeto do Layout do Novo Painel de Automação .....	49
7.4	Configuração do Hardware no Ambiente de Desenvolvimento (TIA Portal) .....	51
7.5	Estrutura e organização do software .....	52
7.6	Aquisição de Dados via Rede Modbus RTU .....	53
7.7	Detalhamento das interfaces de controle .....	55
7.8	Detalhamento do supervisório.....	57
7.9	Viabilidade econômica.....	57
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>61</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>
	<b>Anexo A - Protocolo MODBUS – Família Mult-K .....</b>	<b>64</b>
	<b>Anexo B - Projeto elétrico .....</b>	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Tema

Segundo Herman (2013), as lógicas de comando e proteção de motores elétricos possuem uma associação numerosa de relés, chaves, temporizadores, além de um cabeamento massivo, o que tornou o ambiente industrial um sistema robusto e complexo.

Esses painéis elétricos quando montados somente com esses dispositivos, com controle analógico, tornavam o espaço do painel volumoso, o que impactava em várias características desses sistemas, como a seletividade de proteção: devido a diferentes tempos de acionamento de dispositivos de proteção; A segurança na operação: cargas motorizadas possuem alta energia, principalmente durante suas partidas; Além da impossibilidade de obtenção de dados em tempo real, visto que esses painéis elétricos eram majoritariamente analógicos.

Segundo Savoldi (2013), em painéis eletromecânicos, são usados contadores para chaveamento de circuitos de potência. Suas operações de chaveamento mecânico provocam o efeito “Repique” ou “Bounce”, quando durante o fechamento ou abertura, os contatos mecânicos oscilam, provocando altas correntes que desgastam estes contatos.

Esse efeito era comum nos painéis antigos analógicos, e somado com a dificuldade de criar uma lógica para o funcionamento dos relés, resultou na necessidade de estudos para o avanço no controle e na automação desses sistemas. O avanço na área da eletrônica e implementação de circuitos com lógicas digitais, possibilitou uma das invenções mais famosas para controle dos sistemas industriais, o Controlador Lógico Programável (CLP), produzido pela General Motors nos anos 60 (SALVODI, 2013).

No atual contexto de desenvolvimento tecnológico e industrial, o CLP tornou-se essencial para todo processo de automatização, acionamento e controle, de uma linha fabril ou de máquinas industriais. Sua ampla diversidade de aplicação possibilitou uma maior integração com diversos sistemas, tanto de supervisórios, quanto de análise de dados.

De acordo com Nascimento (2020), os CLPs consistem em três componentes principais: entradas, saídas e processador lógico (CPU). As entradas são responsáveis por receber sinais digitais e/ou analógicos, provenientes de sensores,

botões, etc. As saídas digitais são os resultados do processamento lógico, tomando ações definidas a fim de controlar motores, válvulas, e outros dispositivos. Já a CPU é o processo lógico, pré-definido pelo usuário a partir de linguagens de programação em “Ladder” ou linguagens similares. Essas linguagens possuem interação em blocos intuitivos, o que torna os projetos de controle mais organizados, além de poderem ser extremamente complexos, porém simples de se analisar.

Dessa forma, a utilização de CLPs em substituição aos painéis eletromecânicos tradicionais não apenas garante maior confiabilidade no fluxo de instruções destinadas aos dispositivos conectados, como também possibilita a obtenção de dados em tempo real sobre o comportamento do sistema.

## **1.2 Delimitação do tema**

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica da implementação de um Controlador Lógico Programável (CLP) em um quadro elétrico existente na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Curitiba. O estudo concentra-se na modernização do painel CA AZEHEB, composto por três sistemas motor-gerador independentes. Esse painel, mostrado na Figura 1, é utilizado como módulo didático de geração de energia, em que a fonte primária é um motor controlado por inversor de frequência, localizado na sala CC-006, na sede Curitiba.

Atualmente, o quadro conta com um conversor RS232/RS485 que utiliza o protocolo Modbus RTU-485 para a interligação de multimedidores, cujas informações são apresentadas em um painel sinótico. A pesquisa tem como finalidade justificar a escolha do CLP como controlador desse módulo, abrangendo a operação de geração síncrona, assíncrona e de suprimento de cargas elétricas.

No desenvolvimento do trabalho, foi realizado o dimensionamento do CLP adequado para essa atualização, bem como a elaboração do projeto elétrico e do projeto de automação, contemplando a programação da CPU.

Dessa forma, pretende-se viabilizar a alteração do modo de operação do painel CA AZEHEB, visando facilitar o controle e a supervisão das máquinas geradoras associadas.

**Figura 1 - Módulo de Ensaio de Máquinas CA AZEHEB**



Fonte: SPIEL e BLASZKOWSKI (2013).

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Este estudo busca estudar a implementação eficaz do Controlador Lógico Programável (CLP) no painel CA AZEHEB da sala CC-006, utilizado como recurso didático na formação de estudantes de Engenharia Elétrica na UTFPR. O objetivo é realizar uma pesquisa criteriosa de retrofit, considerando custo/benefício, e identificar os materiais adicionais necessários para a transição do modo de operação local para remoto.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudar o projeto elétrico existente do painel CA AZEHEB;
- Analisar componentes de acionamento dos motores;
- Evidenciar a escolha da utilização do CLP para automação;
- Estudar formas de controle dos botões para controle de velocidade do motor e suas cargas;
- Utilizar o meio de comunicação ModBus RTU 485 com o CLP;



- Fazer um estudo econômico do projeto elétrico.

#### 1.4 Justificativa

A justificativa desse estudo reside na necessidade de se adicionar um novo modo de operação ao painel CA AZEHEB, para acrescentar modos de operação da carga dos geradores síncronos e assíncronos, deixando-as no modo remoto ou local, conforme necessidade. A análise de viabilidade deste projeto apresenta desafios evidentes para a implementação, como a segurança operacional, a escolha do CLP e a adaptabilidade das demandas pedagógicas.

Portanto, esse estudo se fundamenta na necessidade de desenvolver um *Retrofit* que atenda as demandas do painel, visando trazer as melhores opções de CLP/processamento de informações com o viés da viabilidade técnica. Ao fim, espera-se que o projeto não apenas viabilize a implementação do CLP, mas que também sirva como referências para futuras iniciativas da UTFPR para automação e modernização de painéis e equipamentos.

#### 1.5 Metodologia da Pesquisa

A pesquisa desenvolvida caracteriza-se como exploratória, descritiva e explicativa. A abordagem exploratória permitiu levantar informações preliminares sobre o tema, a descritiva possibilitou detalhar as condições de projeto e os materiais necessários para a implementação do retrofit do painel Azeheb, enquanto a explicativa buscou analisar e justificar o funcionamento e a aplicabilidade das soluções propostas.

A fundamentação teórica foi construída a partir da análise de artigos científicos, manuais técnicos, diagramas elétricos, livros didáticos e documentos especializados. O levantamento contemplou conteúdos relacionados a geradores, controladores lógicos programáveis (CLPs), inversores de frequência, protocolos de comunicação industrial e aspectos técnicos do painel em estudo. Esse embasamento possibilitou a consolidação de uma base sólida de conhecimento e a adoção de boas práticas de engenharia no desenvolvimento do projeto.

No escopo do retrofit, foram elaborados programas em linguagem Ladder para o CLP, juntamente com o diagrama elétrico completo, contemplando botões de comando, circuitos de acionamento e sistemas de proteção. Também foi estruturada a arquitetura de comunicação e troca de dados entre os dispositivos, além da

concepção de uma interface de supervisão destinada ao monitoramento e à operação remota do sistema.

O controle e o monitoramento do sistema foram centralizados em um Controlador Lógico Programável (CLP), elemento fundamental para garantir a automação do painel e a integração entre os diferentes dispositivos. Esse controlador desempenha a função de processar os sinais recebidos e executar as lógicas de comando previamente programadas, assegurando a confiabilidade do processo e a padronização das operações. Dessa forma, o CLP atua como núcleo de inteligência do sistema, possibilitando a supervisão das variáveis elétricas e a tomada de decisões automáticas diante das condições operacionais.

O diagrama elétrico foi desenvolvido com base em entradas e saídas digitais, que permitem o gerenciamento dos sinais necessários para o funcionamento seguro e eficiente do painel. Essa estrutura possibilita tanto o acionamento local quanto o monitoramento remoto por meio de supervisão, aumentando a flexibilidade de operação. Foram considerados aspectos de segurança e redundância, de modo a garantir a confiabilidade da solução proposta e a aderência às boas práticas de engenharia elétrica.

A comunicação entre o CLP e os inversores de frequência foi estabelecida por meio do protocolo Modbus, tecnologia amplamente utilizada na indústria devido à sua robustez, confiabilidade e simplicidade de integração. Por meio desse protocolo, o CLP realiza a comunicação direta com o modo de operação Multispeed dos inversores, possibilitando o acionamento, a leitura em tempo real de variáveis como corrente, tensão, frequência e status de funcionamento, além da alteração de alguns dados relacionados ao controle do Multispeed, essa integração garante maior flexibilidade de operação.

Com o objetivo de proporcionar uma interação mais amigável e prática, foi projetada uma tela para a Interface Homem-Máquina (IHM). Essa interface possibilita o controle completo do painel sem a necessidade de utilização de botões físicos, reunindo em um único ambiente os principais comandos e informações do sistema. A IHM foi configurada para apresentar dados operacionais em tempo real, como valores de grandezas elétricas, alarmes de falha e estados de operação dos inversores.

O conjunto formado pela integração entre CLP, supervisão, protocolo de comunicação Modbus e IHM resulta em um sistema de automação robusto, seguro e de fácil utilização. Esse arranjo atende às demandas atuais de flexibilidade,

monitoramento remoto e eficiência operacional, representando um avanço significativo em relação ao modelo anterior do painel Azeheb.

## **1.6 Estrutura do trabalho**

Este Trabalho de Conclusão de Curso está estruturado em oito capítulos, cujos conteúdos são descritos a seguir. O Capítulo 1, aqui apresentado, aborda o tema central deste Trabalho de Conclusão de Curso, destacando o problema de pesquisa e a justificativa para sua realização. Além disso, apresenta os objetivos propostos e a metodologia adotada para o desenvolvimento do estudo.

O Capítulo 2 apresenta um estudo introdutório sobre o funcionamento das máquinas síncronas, abordando seus princípios fundamentais, principais componentes e as teorias que descrevem seu comportamento operacional.

O Capítulo 3 aborda os acionamentos com inversores de frequência, apresentando seus princípios de funcionamento, o impacto da modulação PWM no desempenho do inversor, os tipos de controle aplicados e as principais características de operação desses dispositivos.

O Capítulo 4 destaca os conceitos da linguagem Ladder, abordando sua origem e fundamentos, suas principais aplicações na automação industrial e a estrutura que compõe sua lógica de programação.

O Capítulo 5 apresenta o protocolo Modbus, destacando seu funcionamento, os modos de transmissão e sua ampla aplicação na automação industrial, evidenciando sua versatilidade, confiabilidade e importância contínua como solução eficiente para integração e supervisão de sistemas de controle.

O Capítulo 6 detalha o funcionamento e a finalidade do painel AZEHEB, abordando a integração de toda a automação. São apresentados seus conceitos, objetivos e o modo de operação, proporcionando uma compreensão completa do sistema.

O Capítulo 7 aborda o retrofit, detalhando as alterações implementadas para a automação, como o projeto elétrico atualizado, a programação do CLP e a configuração da interface do supervisor. O capítulo também apresenta os materiais utilizados no processo, incluindo um levantamento de preços, destacando sua relevância para a execução do projeto.

Por fim, o Capítulo 8 apresenta as conclusões finais do trabalho, assim como uma síntese dos projetos desenvolvidos.

## **2 REFERENCIAL SOBRE MÁQUINAS SÍNCRONAS**

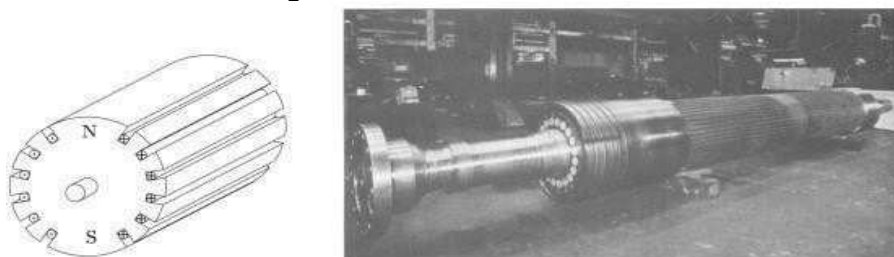
### **2.1 Introdução**

Neste capítulo iremos abordar todos os conceitos fundamentais do gerador síncrono, desde sua concepção, construção e funcionamento. Para a implementação do modo remoto, são necessárias uma série de revisões teóricas sobre: Máquinas Elétricas, Acionamento Eletrônico de Máquinas Elétricas, Controladores Lógicos Programáveis e Protocolo de Comunicação Serial Modbus RTU.

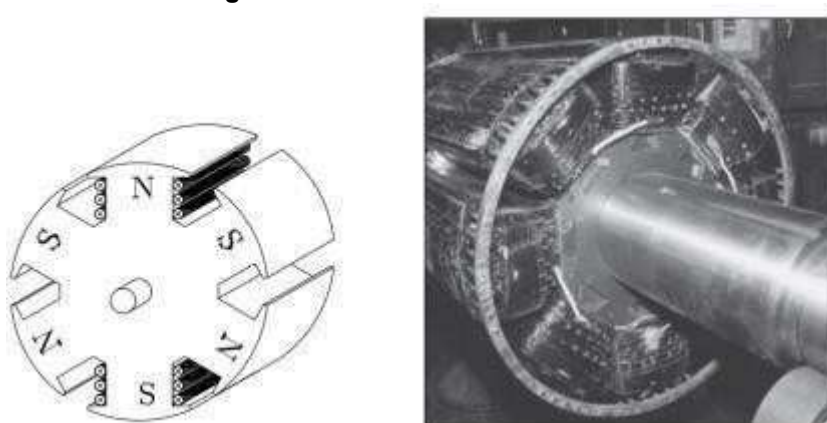
### **2.2 Conceitos básicos dos geradores síncronos**

Segundo (MIRANDA, 2024), os geradores síncronos são máquinas usadas para converter potencial mecânico em energia elétrica, amplamente utilizada em usinas elétricas, hoje são extremamente necessárias para a manutenção da vida humana. De acordo com o autor, os aspectos construtivos de um gerador síncrono podem ser divididos em duas partes, rotor (parte girante) e estator (parte estacionária). Para seu funcionamento é necessário que um campo magnético seja induzido em seu rotor, esse campo magnético pode ser produzido ou por ímãs permanentes ou por eletroímãs, gerado por enrolamentos alimentados por corrente contínua (CC). Para que ocorra a produção de energia elétrica é preciso que esse campo magnético do rotor esteja girando dentro da máquina, para induzir um conjunto de tensões trifásicas nos enrolamentos do estator.

Como em sua maioria os rotores são estruturados por eletroímãs, que por sua vez permitem pólos magnéticos que podem ser construídos de duas formas: saliente e liso. O termo saliente significa “protuberante”, ou seja, pólos que sobressai o rotor. Já o termo liso tem como conceito um pólo embutido ao rotor, ou seja, os eletroímãs estão nivelados com a superfície do rotor. Em geral, rotores de dois a quatro polos são de polos lisos e quatro mais de pólos salientes. As figuras 2 e 3 ilustram e mostram modelos reais de rotores de polos lisos e salientes, respectivamente.

**Figura 2 – Rotor de Polos Lisos**

**Fonte: Desenvolvimento de um sistema para o conector de excitação de campo de um gerador síncrono - UFSM (2018, p. 14)**

**Figura 3 – Rotor de Polos Salientes**

**Fonte: Desenvolvimento de um sistema para o conector de excitação de campo de um gerador síncrono - UFSM (2018, p. 14)**

De acordo com o (CHAPMAN, 2013), para magnetizar os eletroímãs é necessário que o rotor seja alimentado por corrente CC, por meio de uma fonte externa ou por uma fonte de potencial CC montado diretamente no eixo do gerador. Para ser alimentado o rotor deve possuir anéis coletores, que são elos de metal que envolvem completamente o eixo, porém é isolado do mesmo, esses anéis possui a finalidade de servir como um contato por onde a corrente CC energiza os enrolamentos do rotor. Para manter a integridade dos anéis coletores é necessário utilizar escovas, que são blocos de carbono semelhantes a grafite que possui baixo atrito e tem como funcionalidade servir como terminais positivo e negativo da fonte CC para alimentar os anéis. Esse tipo construtivo de gerador é nomeado como “Gerador com Escovas”, que possuem alta exigência de manutenção pelo desgaste do grafite das escovas como também contra indicados para ambientes explosivos pelo fato devido ao centelhamento nas escovas. Assim, houve a necessidade da criação de outro conceito de gerador, “gerador sem escovas” ou “Gerador *Brushless*”.

Conforme o com o autor, Geradores *Brushless* são constituídos por excitatrizes sem escovas, que tem como sua finalidade fornecer a corrente CC para gerar os campos magnéticos do gerador. A excitatriz em sua essência é um gerador de corrente alternada (CA) que o circuito de campo está construído no estator do gerador e o circuito de armadura fica montado no rotor. Para fornecer a corrente CC para energizar os eletroímãs do rotor é necessário um retificador trifásico que converte a corrente alternada em contínua que juntamente com a armadura da excitatriz fica no eixo do gerador. Assim, um gerador Brushless, por não precisar de anéis e escovas em seu arranjo, garante uma menor preocupação em manutenção.

A figura 4 mostra um modelo de anéis coletores, usados em Geradores Brushless.

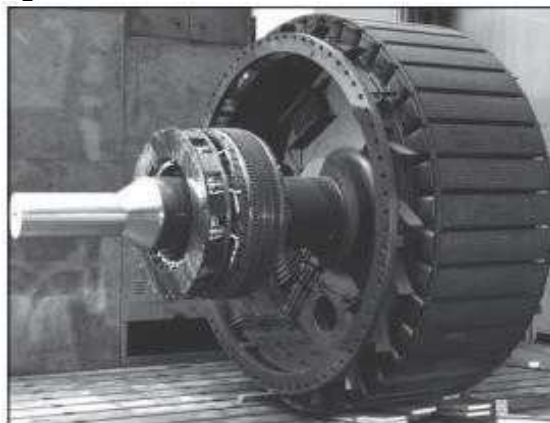
**Figura 4 – Anéis Coletores**



Fonte: ByTune Electronics Co - página da internet.

Por fim, (CHAPMAN, 2013) alega que para tornar o gerador cada vez mais completo e independente, foi se aperfeiçoando o gerador com excitatriz, há caso que o gerador possui excitatriz juntamente com escovas e anéis coletores em seu eixo, para caso que algo de errado com a excitatriz o acionamento via escova entre para que o gerador não pare. Existem também geradores que inibem a necessidade da alimentação externa, esses geradores possuem uma excitatriz piloto que é um gerador CA com ímãs permanentes instalado no eixo rotor da máquina, tem como viés produzir a energia necessária para magnetizar o campo da excitatriz, visando tornar esse gerador completamente autônomo. A figura 5 mostra um rotor com excitatriz e sem escova.

**Figura 5 – Rotor com excitatriz e sem escova**



Fonte: Fundamentos de máquinas elétricas (2013, p. 195)

### **2.3 Comportamento do gerador síncrono sob cargas variadas**

De acordo com (MIRANDA, 2024), o gerador síncrono pode ser encontrado de forma isolada ou paralela com outro gerador. Para analisarmos como as diversas cargas afetam o gerador precisamos estudar esses efeitos em um sistema isolado onde um gerador alimenta apenas uma carga. Primeiramente iremos analisar o comportamento de um gerador quando a carga é aumentada, quando isso ocorre aumentará a demanda tanto de potência ativa ou reativa, e se necessário o aumento das duas, de modo geral o gerador apresenta alguns comportamentos quando submetido às três principais cargas: indutiva, resistiva e capacitiva.

O autor afirma que cargas com fator de potência atrasado (Indutivas), temos como exemplo motores, transformadores e solenoides conectados à rede, elas causam uma defasagem da corrente em relação a tensão, por terem um fator de potência em atraso. Esse distúrbio na rede elétrica causa queda no fluxo magnético interno do gerador, ocasionando uma queda na tensão terminal. Para solucionar esse distúrbio deve-se aumentar a corrente de campo, assim, entregando mais reativos para rede evitando a queda de tensão.

(MIRANDA, 2024) ainda ressalta que cargas com fator de potência unitário (resistivas), geralmente encontradas em aquecedores elétricos e lâmpadas incandescentes, por não terem defasagem entre corrente e tensão, causam poucos distúrbios na rede elétrica e, por conseguinte pouca perturbação no gerador. Sendo considerada uma carga ideal para rede elétrica, afeta positivamente o gerador tornando mais eficiente, ocasionando um leve aumento na tensão terminal gerada.

Cargas com fator de potência adiantado (capacitivas), comumente vistas em equipamentos eletrônicos, têm como característica a corrente adiantada em relação a tensão, que por sua vez fornece reativos para o gerador. Isso afeta negativamente o

gerador, que gera um aumento no fluxo magnético, assim aumentando relativamente a tensão terminal gerada. Para suprir essa perturbação na rede deve-se diminuir a corrente de campo, para compensar o aumento do campo magnético induzido pela carga capacitiva.

Agora que vimos como o gerador se comporta isoladamente, podemos observar como que um sistema com geradores paralelos consegue suprir todas as perturbações elétricas ocasionadas pelas diferentes cargas.

Na modernidade dificilmente um gerador opera isoladamente, em sua maioria eles sempre estarão atuando em paralelo, isso ocorre porque a operação em paralelo traz diversas vantagens, como por exemplo, conectar maiores cargas a rede, manutenção dos geradores e um aumento na confiabilidade para falhas. Para conectar geradores em paralelo é necessário atender algumas condições:

1. Tensões no terminal de ambos geradores iguais;
2. Frequência sincronizada;
3. Sincronismo de fases;
4. Sequência de fase dos geradores deve ser a mesma;
5. Impedância interna compatível;
6. Controle na distribuição de potência ativa e reativa para ambos geradores;
7. Necessário a instalação de relés de proteção em casos de falha.

Assim, geradores em paralelo têm a capacidade de se completarem para suprir qualquer necessidade da rede.

## **2.4 Considerações sobre o capítulo**

Neste capítulo foram apresentados os principais conceitos sobre o gerador síncrono, seu funcionamento, construção e comportamento frente às diferentes cargas. Foi destacado como ele é formado, a função de cada um de seus componentes e como ele responde às variações de carga na rede. Além disso, foram abordadas as vantagens da ligação em paralelo de geradores, mostrando como essa combinação proporciona maior estabilidade, eficácia e confiança. Assim, o gerador síncrono revela-se um equipamento fundamental na geração de eletricidade, sendo indispensável para atender às demandas de diferentes aplicações.



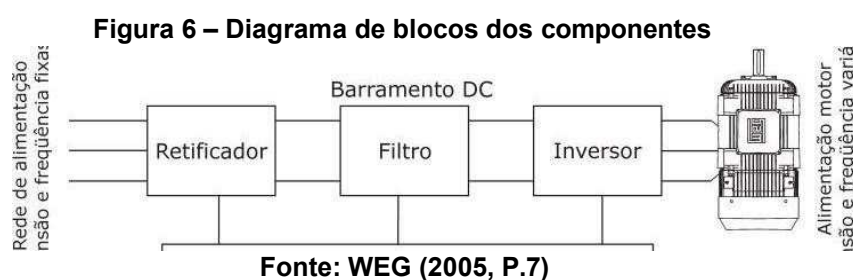
### 3 ACIONAMENTO ELETRÔNICO DE MOTORES UTILIZANDO INVERSOR DE FREQUÊNCIA

#### 3.1 Introdução

Neste capítulo, serão abordados os conceitos fundamentais dos inversores de frequência, incluindo sua definição, princípio de funcionamento, principais tipos e aplicações gerais. Adicionalmente, será detalhada a sua utilização específica no contexto do painel Azeheb.

#### 3.2 Conceitos fundamentais de um inversor de frequência

Segundo Franchi (2008), o inversor de frequência é um dispositivo de eletrônica de potência projetado para variar a velocidade e o torque de motores de corrente alternada (CA). Seu desenvolvimento foi viabilizado pelo avanço dos dispositivos semicondutores de estado sólido, que evoluíram de tiristores para os transistores IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), atualmente mais eficientes e comuns no mercado. A função essencial do inversor é solucionar o problema da frequência fixa da rede elétrica, realizando uma conversão de energia em três estágios (CA-CC-CA) para gerar uma saída de tensão e frequência variáveis, conforme figura 6. Essa capacidade o distingue de tecnologias antecessoras, como os ciclo-conversores, que realizavam uma conversão direta CA-CA, geralmente limitada a frequências mais baixas.



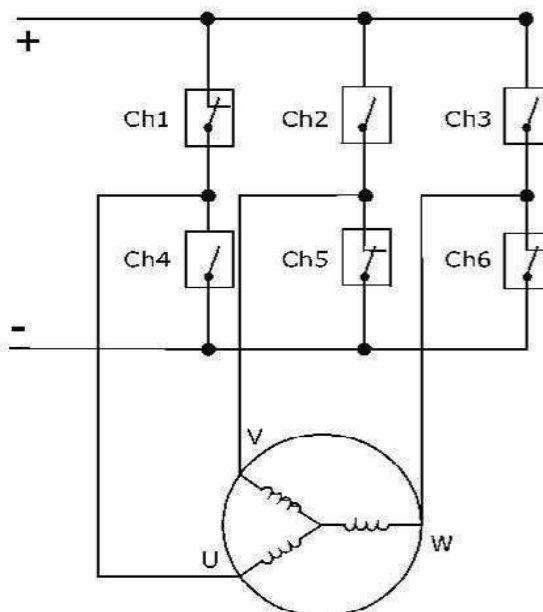
#### 3.3 Princípio de funcionamento de um inversor de frequência

O funcionamento de um inversor de frequência, conforme ilustrado no diagrama esquemático da figura 6, é compreendido em três etapas sequenciais que, juntas, realizam a conversão de energia necessária para o controle do motor.

De acordo com o autor, o primeiro estágio da conversão de energia é feito pelo retificador, onde a tensão alternada trifásica da rede é convertida em tensão contínua (CC) por uma ponte de diodos retificadores de onda completa. O valor da tensão CC na saída deste estágio é aproximadamente 1,41 vezes o valor da tensão

RMS da rede de entrada. O segundo estágio passa pelo filtro, circuito intermediário composto por um ou mais capacitores. Este estágio, conhecido como Link CC, tem a função de suavizar a ondulação da tensão, armazenando energia e fornecendo uma tensão contínua estável para a etapa seguinte. A terceira etapa é o inversor com modulação PWM, que é o núcleo do dispositivo. Este estágio recebe a tensão contínua estabilizada do Link CC e a converte novamente em tensão alternada. O bloco inversor é composto por seis dispositivos de chaveamento denominados de transistores de potência. Um dos mais utilizados é o IGBT, que vem da sigla inglesa Insulated-Gate Bipolar Transistor. A figura 7 exemplifica o diagrama de ligação desses transistores.

**Figura 7 - Diagrama de ligação de transistores de potência (IGBTs) em um bloco inversor**



**Fonte: Guia de Aplicação: Inversores de Frequência (2015, p. 51)**

Para explicar como o inversor faz com que a tensão CC seja vista pela carga como uma tensão CA com frequência ajustável, é necessário entender o funcionamento da modulação por largura de pulso, conhecida como “PWM” (Pulse Width Modulation), que é responsável pelo controle do chaveamento da tensão CC.

### 3.4 Modulação PWM

A modulação por largura de pulso (PWM) é uma técnica essencial para o funcionamento do inversor de frequência. Conforme Franchi (2008), a PWM consiste em variar a largura dos pulsos de tensão CC de forma a simular uma onda senoidal de tensão CA na saída do inversor. Essa variação é controlada por um sinal de referência, geralmente uma onda senoidal de baixa frequência, que é comparada com

uma portadora de alta frequência (geralmente triangular). A partir dessa comparação, são gerados pulsos de tensão com larguras variáveis, que, quando filtrados pelo próprio motor, resultam em uma onda de corrente CA com a frequência e amplitude desejadas.

A principal vantagem da modulação PWM, segundo Franchi (2008), é a possibilidade de controlar com precisão a tensão e a frequência aplicadas ao motor de indução trifásico, permitindo um ajuste fino da velocidade e do torque. Além disso, a técnica PWM reduz as perdas por aquecimento e melhora a eficiência energética do sistema, pois os transistores de potência (como os IGBTs) operam em chaveamento, minimizando o tempo em que estão em estados intermediários de condução, onde as perdas são maiores.

Graças a essa robustez técnica, o inversor de frequência revolucionou o controle de motores de indução trifásicos, substituindo métodos antigos por uma solução moderna e eficiente. Conforme destacado por Franchi (2008), com o uso de técnicas como a modulação PWM e componentes de alta eficiência como os IGBTs, o inversor tornou-se uma ferramenta essencial na automação industrial. Ele permite o controle preciso de velocidade, a redução de custos e o aumento da confiabilidade dos sistemas, sendo sua aplicação amplamente difundida em setores como HVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado), bombas, ventiladores, esteiras transportadoras e máquinas-ferramentas, consolidando-se como uma tecnologia indispensável para a indústria moderna.

### **3.5 Tipos de controle**

De acordo com o autor, para modular a saída do inversor e atender às diferentes demandas de performance da carga acionada, são empregadas distintas estratégias de controle. As duas mais proeminentes na indústria são o controle escalar (V/F) e o controle vetorial, que se diferenciam fundamentalmente em complexidade, precisão e campo de aplicação.

Conforme Franchi (2008), o controle escalar, também conhecido como controle V/F (Tensão/Frequência), é o método mais comum e fundamental. Sua principal premissa é manter a relação entre a tensão e a frequência (V/F) constante desde a partida até que o motor atinja sua frequência nominal. Essa estratégia se baseia no princípio de que, ao manter essa proporção, o fluxo magnético no entreferro da máquina permanece aproximadamente constante, o que, por sua vez, garante que

o motor possa fornecer seu torque nominal em uma ampla faixa de velocidades. Sua principal vantagem reside na simplicidade de implementação, pois não requer um modelo matemático complexo do motor nem sensores de feedback de velocidade (encoder), tornando-o uma solução robusta e de menor custo. Contudo, sua principal limitação é o controle de torque menos preciso, especialmente em baixíssimas velocidades, e sua resposta a variações de carga é mais lenta. Por essas características, o controle escalar é ideal para a vasta maioria das aplicações industriais onde o objetivo primário é o controle de velocidade, como em bombas centrífugas, ventiladores e esteiras transportadoras.

Em contraste com a simplicidade do método escalar, o controle vetorial (ou FOC - Field-Oriented Control) representa uma estratégia de alta performance. Este método trata as correntes do estator do motor como vetores espaciais e, por meio de transformações matemáticas complexas, decompõe a corrente em duas componentes ortogonais: uma responsável pela geração do fluxo magnético (semelhante à corrente de campo em um motor CC) e outra responsável pela produção de torque (semelhante à corrente de armadura). Ao controlar estas duas componentes de forma independente, o controle vetorial permite que o motor de indução, intrinsecamente complexo, seja controlado com a mesma precisão e rapidez de resposta de um motor de corrente contínua de excitação independente. Para alcançar tal precisão, o autor afirma que esta técnica exige um conhecimento detalhado dos parâmetros do motor e, em sua forma mais robusta (malha fechada), utiliza um sensor de velocidade (encoder) acoplado ao eixo do motor para um feedback preciso da posição e velocidade do rotor. Como resultado, o controle vetorial oferece um controle de torque excepcional mesmo em velocidade zero, regulação de velocidade extremamente precisa e uma resposta dinâmica superior a variações de carga. É, portanto, a tecnologia de escolha para aplicações exigentes, como elevadores, guindastes, máquinas-ferramenta CNC, robótica e bobinadeiras.

A escolha entre o controle escalar e o vetorial é, portanto, uma decisão técnica baseada nos requisitos da aplicação. Enquanto o controle escalar oferece uma solução robusta e de excelente custo-benefício para a maioria das aplicações de controle de velocidade, o controle vetorial se estabelece como a tecnologia indispensável para sistemas que exigem máxima performance dinâmica e controle preciso de torque.

### 3.6 Características de operação e aplicações práticas

A aplicação eficaz de inversores de frequência requer a compreensão de seu comportamento sob diferentes condições de operação, especialmente em regimes acima da frequência nominal e em baixas rotações. Operação em regime de enfraquecimento de campo acontece quando se opera acima da frequência nominal do motor, a tensão de saída do inversor atinge seu valor máximo e não pode mais acompanhar o aumento da frequência. Com isso, a relação  $V/F$  diminui, o que causa uma redução no fluxo magnético e, conseqüentemente, uma queda no torque que o motor pode fornecer. Esta faixa de operação é conhecida como "região de enfraquecimento de campo". Operação em baixas rotações e ventilação é necessário em aplicações que exigem operação contínua em baixas rotações. Motores padrão com ventilação acoplada ao próprio eixo têm sua capacidade de refrigeração reduzida em baixa velocidade, pois o fluxo de ar do ventilador diminui. Se o motor estiver sob alta carga, isso pode levar ao superaquecimento e à queima dos isolantes. Para evitar danos, os fabricantes fornecem curvas de operação que indicam a necessidade de redução do torque aplicável. A solução definitiva para esta limitação é a utilização de motores com ventilação independente, que possuem um ventilador próprio acionado por um motor separado, garantindo a troca térmica ideal em qualquer velocidade e permitindo a aplicação de torque elevado de forma segura em toda a faixa de operação.

### 3.7 Considerações sobre o capítulo

Ao longo deste capítulo, foram apresentados os conceitos essenciais que governam a tecnologia dos inversores de frequência. Foi estabelecido que o inversor é um dispositivo de eletrônica de potência cuja função primordial é o controle de velocidade e torque de motores de corrente alternada. Detalhou-se seu princípio de funcionamento, que se baseia na conversão de energia CA-CC-CA, realizada por três estágios distintos: o retificador, o circuito intermediário (Link CC) e o estágio inversor, que utiliza a técnica de Modulação por Largura de Pulso (PWM) para sintetizar uma nova onda de tensão com frequência e amplitude variáveis.

Adicionalmente, foram analisadas as principais estratégias de controle, diferenciando o método escalar ( $V/F$ ), caracterizado pela simplicidade e robustez para aplicações gerais, da abordagem vetorial, que oferece alta performance e precisão de torque para sistemas mais exigentes. A discussão também abrangeu considerações

práticas de aplicação, como o fenômeno do enfraquecimento de campo em operações acima da frequência nominal e os desafios de refrigeração de motores em baixas rotações, evidenciando que a implementação da tecnologia requer uma análise criteriosa das condições operacionais da carga. No painel Azeheb, os três inversores de frequência atuam diretamente no controle de velocidade dos motores para garantir a estabilidade da frequência do barramento em 60Hz. Essa regulação é essencial para compensar dinamicamente as variações de rotação que ocorrem com a adição ou remoção de cargas RLC, assegurando a constância da frequência gerada.

## 4 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS

### 4.1 Introdução

Neste capítulo, serão abordados os conceitos fundamentais dos controladores lógicos programáveis, sendo abordados assuntos como sua história na indústria, seus benefícios para automações, e suas estruturas básicas e lógicas, necessárias para o controle do painel AZEHEB.

### 4.2 Conceitos fundamentais dos controladores lógicos programáveis

Segundo (FRANCHI, 2008b), o *Programmable Logic Controller* (PLC) ou Controlador Lógico Programável (CLP), foi desenvolvido pela empresa General Motors, em 1968. O CLP veio com o objetivo de ser um dispositivo capaz de mudar a lógica dos painéis elétricos da época sem que se alterasse muito sua estrutura, visto que esses painéis possuíam funções específicas e qualquer alteração em sua lógica implicava em exorbitantes gastos de dinheiro e tempo de pessoal qualificado.

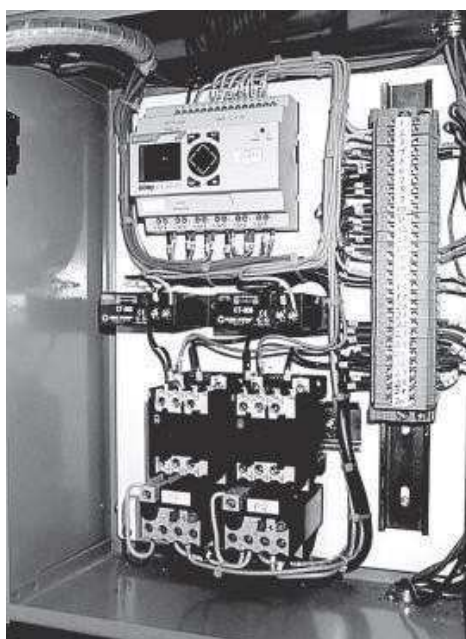
"Sistema eletrônico operado digitalmente, projetado para uso em um ambiente industrial, que utiliza uma memória programável para o armazenamento interno de instruções orientadas ao usuário para implementar funções específicas, como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, para controlar, por meio de entradas e saídas digitais ou analógicas, vários tipos de máquinas ou processos. Tanto o CLP quanto seus periféricos associados são projetados para que possam ser facilmente integrados a um sistema de controle industrial e facilmente utilizados em todas as suas funções pretendidas." (*INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION 61131-1 - PROGRAMMABLE CONTROLLERS, 2003, PÁGINA 7, TRADUÇÃO PRÓPRIA*).

De acordo com (PETRUZELLA, 2014), os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) apresentam diversas vantagens em comparação aos sistemas de controle baseados em relés convencionais. Após ser desenvolvido e testado, o programa de controle pode ser facilmente transferido para outros CLPs de forma compacta, o que aumenta a confiabilidade do sistema. Como toda a lógica de controle é armazenada na memória do CLP, elimina-se o risco de erros comuns em sistemas de relés, como ligações elétricas incorretas ou falhas na montagem das lógicas de contatos (NA/NF – Normalmente Aberto/Normalmente Fechado). Além disso, o uso de CLPs reduz significativamente a quantidade de fiação externa necessária para o controle de processos, simplificando a estrutura dos painéis elétricos e reduzindo sua complexidade. Outro benefício destacado é a confiabilidade intrínseca dos

componentes de estado sólido, que garantem maior durabilidade e precisão ao sistema.

Uma das principais vantagens dos Controladores Lógicos Programáveis é a sua flexibilidade operacional. Segundo (PETRUZELLA, 2014), os CLPs simplificam significativamente a criação e modificação de programas de controle, permitindo que o usuário defina de forma personalizada as relações entre as entradas e saídas do sistema. Essa facilidade de programação não se limita apenas à configuração inicial, mas também permite ajustes dinâmicos conforme as necessidades do processo, sem a necessidade de alterações físicas na fiação ou na estrutura do painel de controle. Além disso, os CLPs oferecem a possibilidade de implementar camadas adicionais de segurança, como travas e senhas, que protegem o programa contra acessos não autorizados ou alterações indevidas. Essa combinação de flexibilidade e segurança os torna uma solução robusta e adaptável para uma ampla gama de aplicações industriais. A figura 8 mostra um painel com um controlador lógico programável integrando sensores e atuadores.

**Figura 8 - Painel de controle baseado em CLP**



**Fonte: Controladores Lógicos Programáveis (2014, p. 2)**

A substituição dos sistemas de controle baseados em relés pelos Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) trouxe uma redução significativa de custos, tornando os relés dispositivos mais específicos para aplicações de chaveamento de circuitos de potência. Conforme (PETRUZELLA, 2014), “De modo geral, se uma aplicação utiliza mais de meia dúzia de relés de controle, provavelmente será mais econômico a utilização de um controlador lógico programável”. Essa



transição não apenas diminuiu os custos de implementação, mas também simplificou a manutenção e a operação dos sistemas de controle. Além da vantagem econômica, os CLPs destacam-se por sua capacidade de comunicação. Eles possuem uma ampla gama de configurações que permitem a integração com outros controladores e equipamentos, seja para funções de controle, coleta de dados ou monitoramento remoto. Essa interoperabilidade é essencial em sistemas industriais modernos, onde a troca de informações entre dispositivos é fundamental para a automação e a eficiência dos processos (PETRUZELLA, 2014).

Outro aspecto relevante dos CLPs é o seu tempo de resposta rápido. Projetados para operar em alta velocidade, eles são capazes de monitorar e controlar processos em tempo real, garantindo que qualquer evento no sistema seja imediatamente refletido na execução de uma operação ou na alteração do status de uma de suas saídas. Essa característica é particularmente importante em aplicações que exigem precisão e agilidade.

Por fim, os CLPs oferecem um sistema de diagnóstico integrado que facilita a identificação e a correção de falhas. Com funções de verificação de defeitos, os usuários podem visualizar o programa de controle em uma tela e acompanhar sua execução em tempo real, o que permite detectar e resolver problemas de forma rápida e eficiente. Essa capacidade de monitoramento contínuo não apenas aumenta a confiabilidade do sistema, mas também reduz o tempo de inatividade e os custos associados à manutenção corretiva (FRANCHI, 2008b).

#### **4.3 Linguagem de programação**

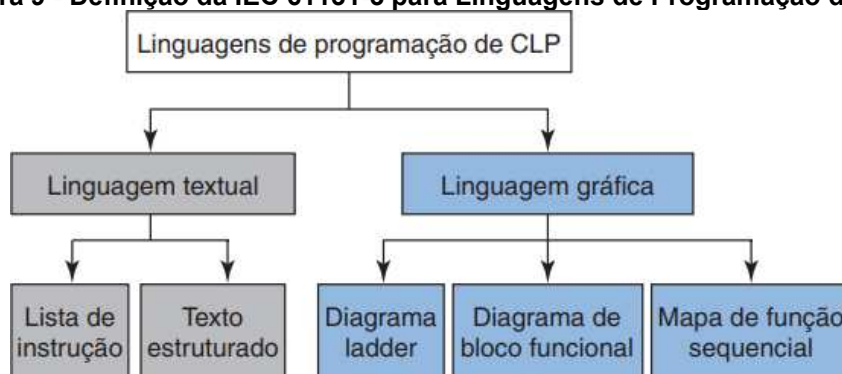
Segundo (PETRUZELLA, 2014), a linguagem de programação é um conjunto de comandos que um computador pode entender e executar. Programar é o processo de criar um conjunto de instruções para o computador, permitindo que ele tome decisões automaticamente com base no estado atual, das entradas e das saídas do sistema. O programador deve antecipar diferentes cenários, planejar como o sistema deve reagir e escrever essas instruções em uma linguagem de programação específica, que será então interpretada pelo CLP.

A norma internacional IEC 61131-3 (*Programming Languages*) foi estabelecida para padronizar as linguagens associadas com a programação de CLP, definindo cinco linguagens-padrão, sendo elas o Ladder, diagrama de blocos de função, mapa de função sequencial, listas de instruções e texto estruturado

(PETRUZELLA, 2014).

Os CLPs podem ser programados utilizando diferentes linguagens, cada uma com suas características e aplicações específicas. O diagrama ladder é uma das linguagens mais comuns, baseada em uma representação gráfica que imita a estrutura de circuitos elétricos de relés. Essa familiaridade com a lógica de relés facilita a transição para a programação de CLPs, especialmente para profissionais acostumados com sistemas de controle tradicionais. Já o diagrama de blocos de função (FBD) utiliza blocos interconectados, simples ou complexos, para representar o fluxo de processos de forma gráfica, sendo ideal para aplicações que envolvem operações matemáticas ou lógicas mais elaboradas (PETRUZELLA, 2014).

Outra linguagem amplamente utilizada é o mapa de função sequencial (SFC), que organiza o controle de processos em passos e transições, formando um fluxo sequencial ou paralelo de operações. Essa abordagem é particularmente útil para processos que exigem uma visualização clara e intuitiva das etapas, permitindo a execução simultânea de tarefas e a fácil identificação de transições entre estados. Por outro lado, a lista de instruções (IL) é uma linguagem textual de baixo nível, semelhante à linguagem assembly, onde cada linha de código representa uma instrução simples. Essa linguagem é altamente eficiente para execução direta pelo processador do CLP, mas exige maior familiaridade com programação de baixo nível. Por fim, o Texto Estruturado (ST) é uma linguagem textual de alto nível, inspirada em linguagens como Pascal ou C. Ela permite a criação de blocos de código organizados, com estruturas como loops, condicionais e funções, o que facilita a implementação de lógicas complexas e a manutenção do programa. Sua sintaxe clara e estruturada torna-a uma escolha ideal para aplicações que demandam maior flexibilidade e legibilidade no código. A figura 9 mostra o padrão de linguagens de programação definidos pela Comissão Internacional de Eletrotécnica 61131-3.

**Figura 9 - Definição da IEC 61131-3 para Linguagens de Programação do CLP**

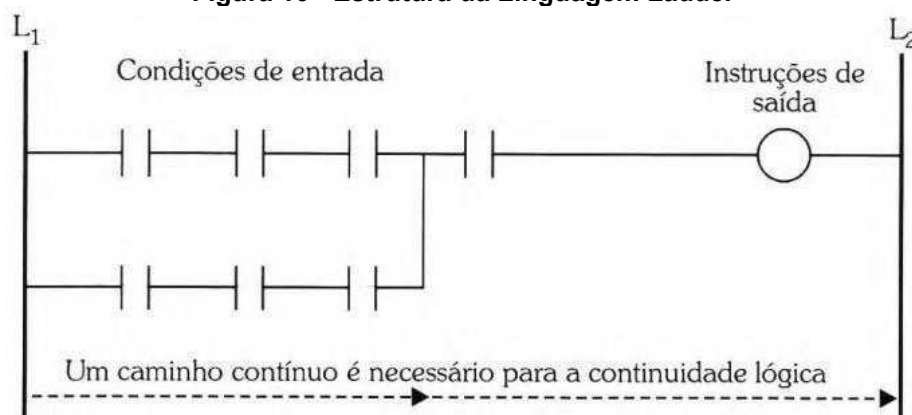
Fonte: Controladores Lógicos Programáveis (2014, p. 77)

Neste trabalho de conclusão de curso, o controlador lógico programável será utilizado com a linguagem *Ladder*.

#### 4.4 Linguagem Ladder

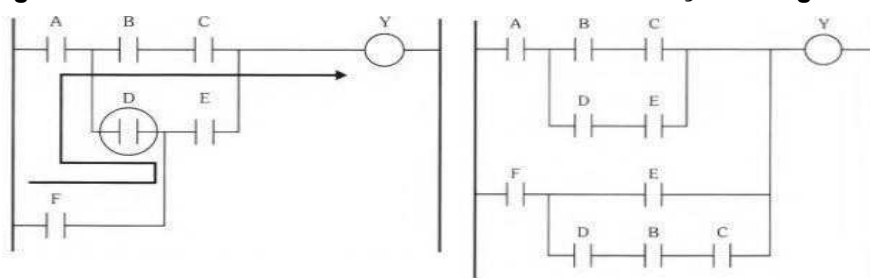
Segundo (FRANCHI, 2008b), a linguagem Ladder é a linguagem mais utilizada para CLP e é projetada graficamente na lógica de relés e contatos elétricos para a realização de circuitos de comandos de acionamentos. Por ser a primeira linguagem utilizada pelos fabricantes, é a mais difundida e encontrada em quase todos os CLPs da geração atual. Recebeu vários nomes desde sua criação, entre eles diagrama do tipo escada, diagrama de contatos e linguagem de contatos.

A linha vertical à esquerda representa o pólo positivo e a outra linha paralela à direita representa o pólo negativo. Os símbolos de contatos programados em uma linha representam as condições que serão avaliadas de acordo com a lógica. Como resultado, determina-se o controle de uma saída, que normalmente é representada pelo símbolo de uma bobina ou de blocos funcionais (contadores, temporizadores e outros com funções especiais), que devem ser os últimos elementos à direita. A figura 10 mostra como uma programação em Ladder deve ser feita, contribuindo para a continuidade lógica do circuito.

**Figura 10 - Estrutura da Linguagem Ladder**

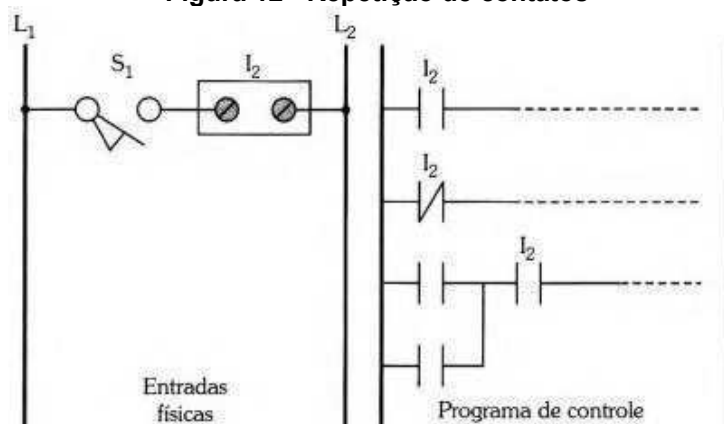
Fonte: Controladores Lógicos Programáveis - Sistemas Discretos (2008, p. 115)

O diagrama Ladder permite que haja vários caminhos de continuidade para energizar a saída desejada, sendo possível criar cenários diversos de funcionamento do processo. Como em um contato elétrico o fluxo de energia pode ocorrer em qualquer sentido, o programador pode acabar montando um degrau com fluxo reverso. Entretanto, não é permitido que isso ocorra, pois na lógica Ladder a varredura ocorre no sentido da barra da esquerda para a direita e de cima para baixo. Porém se a implementação necessitar desse fluxo reverso, o circuito lógico deve ser reconstruído de maneira que o fluxo vá no sentido correto. A figura 11 ilustra exemplos de lógicas que possuem fluxo reverso e como reconstruí-lo.

**Figura 11 - Fluxo reverso no contato D e sua reconstrução da lógica**

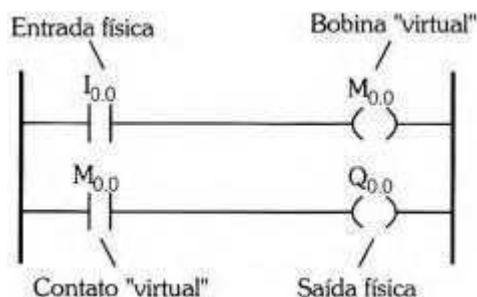
Fonte: Controladores Lógicos Programáveis - Sistemas Discretos (2008, p. 116)

Em circuitos físicos de relés, há uma quantidade limitada de contatos normalmente abertos e normalmente fechados. Nos diagramas Ladder, os contatos podem ser repetidos, limitados pela capacidade de memória, com cada contato sendo identificado com o nome de sua respectiva bobina. Apesar dos contatos poderem ser repetidos, a repetição de uma mesma bobina é desaconselhável, visto que sua repetição pode causar conflitos de estados, onde o último valor escrito prevalece, levando a comportamentos imprevisíveis. A figura 12 apresenta como se faz possível repetir o mesmo contato inúmeras vezes, afim de criar lógicas complexas.

**Figura 12 - Repetição de contatos**

Fonte: Controladores Lógicos Programáveis - Sistemas Discretos (2008, p. 118)

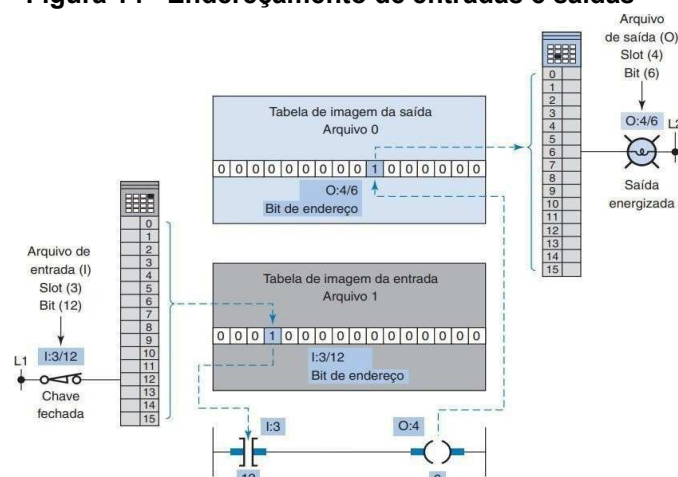
O diagrama Ladder permite a criação de bobinas auxiliares virtuais, utilizadas normalmente para armazenamento temporário de bits, com essas bobinas podendo serem energizadas ou desligadas e seus contatos sendo utilizados para controlar outras saídas. Esses relés internos não estão associados diretamente a uma saída, representando apenas uma posição na memória RAM do CLP. A figura 13 demonstra funcionalidades exclusivas de sistemas eletrônicos, as bobinas auxiliares, que só existem internamente no software.

**Figura 13 - Bobinas auxiliares**

Fonte: Controladores Lógicos Programáveis - Sistemas Discretos (2008, p.119)

Para cada instrução de entrada ou saída, é associado um endereço que indica a localização na memória do CLP onde essa instrução será armazenada. Esses elementos são identificados por letras e números, correspondentes a função, número de slot e bit. Para codificar as entradas e saídas, é comum utilizar a letra I (*Input*) para as entradas e a letra Q (*Quit*) ou O (*Output*) para as saídas. Todo CLP possui tabelas de dados que representam imagens virtuais das entradas ligadas aos cartões de entrada, e das saídas ligadas aos cartões de saída. A figura 14 mostra os endereços de memória de um CLP.

**Figura 14 - Endereçamento de entradas e saídas**



Fonte: Controladores Lógicos Programáveis (2014, p. 82)

#### 4.5 Considerações sobre o capítulo

Os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) são dispositivos essenciais na automação industrial moderna, oferecendo uma solução robusta e versátil para o controle de processos. Suas principais vantagens incluem alta confiabilidade, fácil reprogramação e adaptação a diferentes aplicações, além de manutenção simplificada. A estrutura básica de um CLP compreende três elementos fundamentais: as entradas, que recebem sinais de sensores e dispositivos externos; a unidade central de processamento (CPU), que executa a lógica de controle previamente programada; e as saídas, que enviam comandos para atuadores, motores e outros elementos do sistema. Essa organização modular permite que os CLPs sejam facilmente integrados a diversos ambientes industriais, promovendo maior eficiência e segurança operacional.

Dentre as linguagens utilizadas para programação de CLPs, destaca-se a linguagem Ladder, que se assemelha a diagramas de circuitos elétricos com relés. Essa abordagem gráfica facilita a interpretação por profissionais da área elétrica e de automação, tornando o desenvolvimento e o teste dos programas mais acessíveis. Quando combinados com dispositivos como os inversores de frequência, os CLPs permitem um controle preciso de variáveis como velocidade, torque e frequência de motores, adaptando-se em tempo real às demandas do sistema. No caso do painel AZEHEB, essa integração garante a estabilidade da frequência do barramento em 60 Hz, mesmo diante de variações de carga, evidenciando a importância dos CLPs no desempenho e na confiabilidade de sistemas automatizados.

## **5 REDE DE COMUNICAÇÃO MODBUS RS485**

### **5.1 Introdução**

A comunicação entre dispositivos de automação é fundamental para o monitoramento e controle de processos industriais. Nesse cenário, a rede de comunicação Modbus é amplamente utilizada. Desenvolvida em 1979 pela Modicon, ela rapidamente se tornou um padrão de mercado. Conforme destacado por Souza (2010), sua arquitetura robusta e simples oferece a vantagem de agrupar dados de vários equipamentos em apenas um par de cabos trançados, otimizando a infraestrutura e reduzindo custos. A natureza de protocolo aberto, sem royalties, consolidou o Modbus como um dos mais empregados em sistemas de automação industrial.

### **5.2 Funcionamento e modos de transmissão: RTU (Remote Terminal Unit) e ASCII.**

O protocolo Modbus é baseado na arquitetura mestre-escravo. Nessa topologia, um único dispositivo, o mestre, é o responsável por iniciar todas as comunicações, enviando requisições aos dispositivos escravos. Os escravos, por sua vez, apenas respondem às requisições que são endereçadas a eles, sem a capacidade de iniciar uma comunicação por conta própria. O mestre pode enviar mensagens a um escravo individualmente ou a todos os escravos (modo broadcast).

Os escravos só respondem às mensagens endereçadas especificamente a eles, enquanto as mensagens broadcast não geram respostas. Segundo Souza (2010), o Modbus é um protocolo de camada de aplicação que pode ser implementado em diferentes meios de transmissão. Na comunicação assíncrona, existem dois modos de transmissão principais: RTU (Remote Terminal Unit) e ASCII. O Modbus RTU é o modo mais comum para comunicação serial. Ele utiliza um formato binário compacto, o que proporciona uma maior densidade de caracteres e fluidez na transmissão de dados. A verificação de erros é realizada através do CRC (Cyclic Redundancy Check). Já o Modbus ASCII, similar ao RTU, utiliza caracteres ASCII para a transmissão. Embora seja mais fácil de ser interpretado por humanos, é menos eficiente que o RTU, pois cada byte de dados requer dois caracteres ASCII para ser transmitido. A verificação de erros é feita pelo LRC (Longitudinal Redundancy Check).

### **5.3 Tipos de ModBus (RTU, ASCII, TCP)**

Conforme aponta (SOUZA, 2010), o protocolo Modbus pode ser

implementado em diferentes meios de transmissão, dando origem a variações que se adaptam a necessidades específicas. Os três tipos mais comuns são: Modbus RTU (Remote Terminal Unit), Modbus ASCII e Modbus TCP. O protocolo de comunicação Modbus RTU é o tipo mais comum para comunicação serial. Ele utiliza um formato binário compacto, o que garante maior eficiência na transmissão de dados e é ideal para redes de baixa velocidade. Cada mensagem é finalizada por um CRC (Cyclic Redundancy Check) para garantir a integridade dos dados. Enquanto isso, o protocolo Modbus ASCII é similar ao RTU, mas utiliza caracteres ASCII para a transmissão. Embora seja mais fácil de ser interpretado por humanos, ele é menos eficiente que o RTU, pois cada byte de dados requer dois bytes de caracteres. Por fim, a comunicação Modbus TCP utiliza a suíte de protocolos TCP/IP para comunicação através de redes Ethernet. Essa versão é amplamente utilizada por permitir a integração com redes de computadores, facilitando a comunicação em sistemas distribuídos e a grandes distâncias.

#### 5.4 Estrutura da mensagem

Toda comunicação Modbus ocorre através de uma mensagem (quadro) que segue uma estrutura bem definida. Essa estrutura garante que o mestre e o escravo possam interpretar corretamente as informações trocadas. Uma mensagem Modbus RTU, conforme indicado na figura 15.

**Figura 15 – Formato de dados da rede Modbus RTU.**

<b>Endereço do Escravo</b>	<b>Código de Função</b>	<b>Dados</b>	<b>Verificação de Erro (CRC)</b>
1 byte	1 byte	N bytes	2 bytes

**Fonte: autoria própria.**

A mensagem, conforme ilustrado na figura 15, é composta por campos essenciais: o Endereço do Escravo, que identifica o escravo de destino (valores de 1 a 247) ou é usado para mensagens do tipo broadcast (valor 0); o Código da Função, que informa ao escravo se a ação a ser executada será ler ou escrever; os Bytes de Dados, que contêm informações adicionais como o endereço de registro e a quantidade de itens a serem lidos; e a Verificação de Erro, que permite ao escravo validar os dados recebidos para garantir a integridade da comunicação.



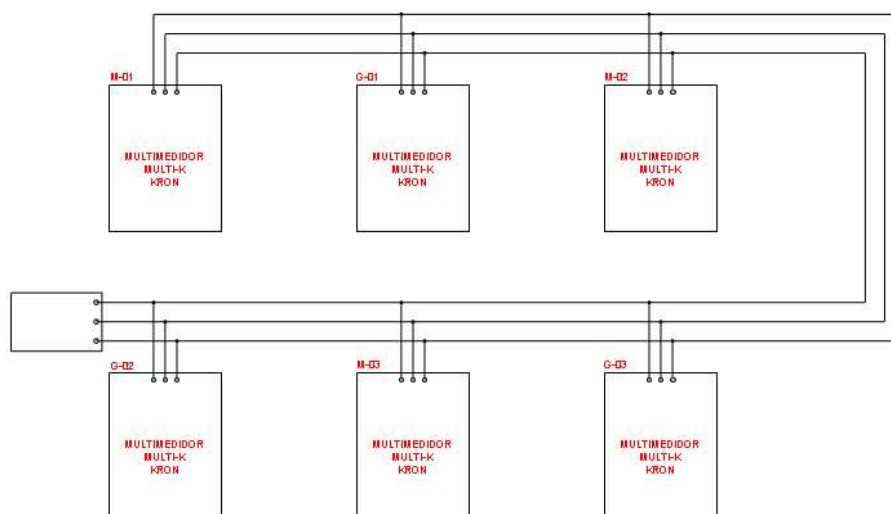
### **5.5 O meio físico RS-485**

Enquanto o Modbus é o protocolo de comunicação, o RS-485 é o meio físico mais comum para implementá-lo, especialmente na versão Modbus RTU, devido às suas características robustas que garantem comunicação confiável em longas distâncias e em ambientes com alto ruído eletromagnético. Uma das principais características, conforme afirma Souza (2010), é a comunicação diferencial, que utiliza um par de fios trançados para transmitir o sinal como a diferença de tensão, o que ajuda a cancelar interferências. A rede RS485 é configurada em uma topologia de barramento, permitindo que múltiplos dispositivos se conectem ao mesmo par de fios. Essa capacidade multiponto possibilita a conexão de até 32 dispositivos em um único segmento, número que pode ser expandido com repetidores. Além disso, o RS485 se destaca por permitir a transmissão de dados a longas distâncias, alcançando mais de 1200 metros com alta confiabilidade. Geralmente operando em modo half-duplex, os dados são transmitidos em apenas uma direção por vez, com o mestre enviando a requisição e a linha sendo liberada para a resposta do escravo.

### **5.6 Estudo de caso: Aplicação no painel AZEHEB**

Para o controle dos motores no painel AZEHEB, são empregados inversores de frequência da WEG. As medições de variáveis elétricas essenciais, incluindo tensão, corrente e frequência, são realizadas por multimedidores Mult-K da Kron. O protocolo Modbus RTU estabelece a comunicação entre os inversores e os multimedidores, utilizando o meio físico RS-485 em uma topologia de barramento, permitindo a leitura de dados de medição. Na figura 16 exemplifica como essa ligação foi realizada.

**Figura 16 – Rede de comunicação entre os multimedidores Mult-K da Kron.**



**Fonte: Painel Elétrico AZEHEB (2013, p.14)**

## **5.7 Considerações do capítulo**

O protocolo Modbus, por sua natureza robusta e aberta, demonstrou ser uma solução de comunicação industrial amplamente versátil e eficiente para o controle e monitoramento de processos. Conforme discutido neste capítulo, sua arquitetura mestre-escravo permite uma comunicação organizada e confiável, onde um dispositivo central (mestre) gerencia a troca de informações com os dispositivos periféricos (escravos). A flexibilidade do Modbus é evidente na existência de diferentes modos de transmissão, como o RTU e o ASCII, que se adaptam a necessidades específicas de eficiência e legibilidade dos dados. A estrutura de sua mensagem, composta por campos como endereço, código de função e verificação de erro, garante a integridade dos dados e o endereçamento preciso das informações. No contexto do estudo de caso, a aplicação do Modbus RTU, utilizando o meio físico RS-485, mostrou-se ideal para a comunicação entre os inversores de frequência e os multimedidores do painel AZEHEB. A robustez do RS-485 em ambientes ruidosos e sua capacidade de interligar múltiplos dispositivos em uma topologia de barramento confirmam a adequação para a aplicação no painel.

Em suma, a longevidade e a relevância do protocolo Modbus no cenário da automação industrial, mesmo com o surgimento de tecnologias mais recentes, são inquestionáveis. Sua simplicidade, aliada à confiabilidade, o torna uma escolha sólida para a integração de dispositivos em sistemas de controle.

## **6 DETALHAMENTO DO PAINEL AZEHEB**

### **6.1 Introdução**

Neste capítulo, serão abordados os conceitos fundamentais do funcionamento do painel e seus componentes.

### **6.2 Finalidade do painel**

O painel AZEHEB tem como objetivo simular unidades geradoras em funcionamento com cargas de tipos variados, como cargas resistivas, indutivas e capacitivas, a fim de estudar o comportamento elétrico do gerador em cada caso.

Para simular a geração de energia, há 3 motores que são acionados por inversores de frequência conectados no barramento da concessionária COPEL. Cada motor tem seu eixo acoplado em cada gerador, assim quando um motor transforma o campo eletromagnético em trabalho no eixo, o gerador transforma o trabalho do eixo em campo eletromagnético, gerando tensão em sua armadura. Cada gerador tem sua saída conectada em um barramento trifásico próprio, que é monitorado pelos multimedidores Kron Mult-K.

O painel ajusta a velocidade dos motores de acordo com configurações específicas dos inversores de frequência. Para alterar as rampas de velocidade do inversor, são utilizadas chaves comutadoras, as quais estão conectadas diretamente nos inversores, nas entradas DI1, DI2, DI3, DI4 e DI5, tornando possível o controle em três níveis de velocidade e também o controle sentido de giro do motor.

O painel possui três bancos de cargas para realizar as perturbações na energia gerada pelo gerador. Para selecionar as cargas estão disponibilizadas quinze chaves comutadoras no total, sendo cinco para carga resistiva, cinco para indutiva e cinco para capacitiva. As cargas resistivas estão disponibilizadas em 5 bancos de 3 resistências ligadas em conexão delta, que possuem 400W de potência. As cargas indutivas também seguem a disposição das cargas resistivas, com 5 bancos de 3 indutores em conexão delta, com 400VA de potência. Por fim, as cargas capacitivas possuem 5 bancos com 3 capacitores em conexão delta, sendo que cada banco possui 1,5 kVAr.

Os multimedidores Kron (Mult-K), tem como princípio incorporar medidas de grandeza elétrica dos motores e geradores. As leituras dos parâmetros estão disponibilizadas a partir da rede ModBus.

### 6.3 Operação do painel

De acordo com (SPIEL, OLIVEIRA E BLASZKOWSKI, 2013), com citação direta “[...] no início da operação o disjuntor geral deverá estar desligado, sendo necessário o operador se certificar de que nenhuma das chaves seletoras, duas posições, de liga/desliga, das cargas (S1, S2, S3, S4, S5) e das velocidades do inversor (HAB., GIRO, MS-1, MS-2, MS-3) estejam ligadas (direcionadas ao lado esquerdo). Esse pré-requisito garante que a energização do painel não ocorra com a ligação de alguma carga ou motor de forma desnecessária. O primeiro passo é a abertura do painel e acionar o disjuntor geral (DJ1) e destravar o botão de emergência (EMERGÊNCIA) para habilitar a operação. Após isso, podemos observar que os multimedidores (M-01, M-02, M-03, G-01, G-02, G03) que apresentam nos mostradores nenhuma grandeza aferida (0.00) e nos instrumentos analógicos. Para a ligação do primeiro motor M-01, aciona-se a chave (HAB.) para a direita, a fim de energizar a entrada digital do inversor (INV.) denominada DI(1), para o cumprimento da função START. Após a partida do motor M-01 pode-se variar a velocidade conforme a combinação das chaves (HAB., MS-1, MS-2, MS-3), configuradas através da função *multi-speed* do inversor de frequência, esta função é obtida através da ligação das entradas digitais do inversor, que quando parametrizadas pelo usuário, conseguem imprimir na saída do inversor uma frequência pré-determinada. O motor M-01 está conectado mecanicamente ao gerador G-01, mostrado na figura 25, bem como o M-02 ao G-02 e o M-03 ao G-03. Os motores estão alimentados pelo barramento da COPEL e os geradores alimentam o barramento de geração, este por sua vez é o que alimenta as cargas a serem simuladas. Para se alimentar as cargas é necessário acionar os motores e permitir que o barramento de geração absorva a potência elétrica fornecida pelos geradores, esta função é desempenhada através das chaves seletoras denominadas (G1, G2 e G3), que acionam os contadores K2, K3 e K4 para desempenhar esta função.”.

## **7 RETROFIT E DESENVOLVIMENTO DO NOVO SISTEMA DE CONTROLE**

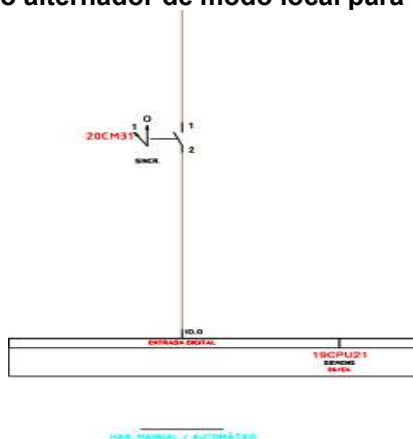
### **7.1 Introdução**

Este capítulo detalha a metodologia empregada para o retrofit do painel CA AZEHEB, com foco na integração de um Controlador Lógico Programável (CLP) para habilitar o modo de operação remoto. Serão apresentadas as etapas para a implementação do CLP, incluindo a adaptação da infraestrutura elétrica, a ligação dos módulos de expansão e a lógica de controle desenvolvida. Adicionalmente, será abordada a comunicação do CLP com os dispositivos existentes e a integração de Interfaces Homem-Máquina (IHM) para uma supervisão e operação eficientes. O objetivo é demonstrar a viabilidade técnica da modernização, visando otimizar a segurança, a flexibilidade e o potencial didático do equipamento.

### **7.2 Modificações do projeto elétrico**

A implementação do controle automatizado exigiu modificações no projeto elétrico para assegurar a correta interface entre o CLP e os acionamentos de campo. Primeiramente, foi instalada uma chave comutadora na porta do painel para permitir a seleção entre os modos de operação "Local" e "Remoto" (Figura 17). Na condição de operação remota, um intertravamento de segurança é acionado pela lógica do CLP através do relé BR1. Este relé secciona a alimentação dos circuitos de comando locais do painel Azeheb, prevenindo acionamentos inadvertidos ou conflitantes e assegurando que o controle seja exercido exclusivamente pelo sistema automatizado.

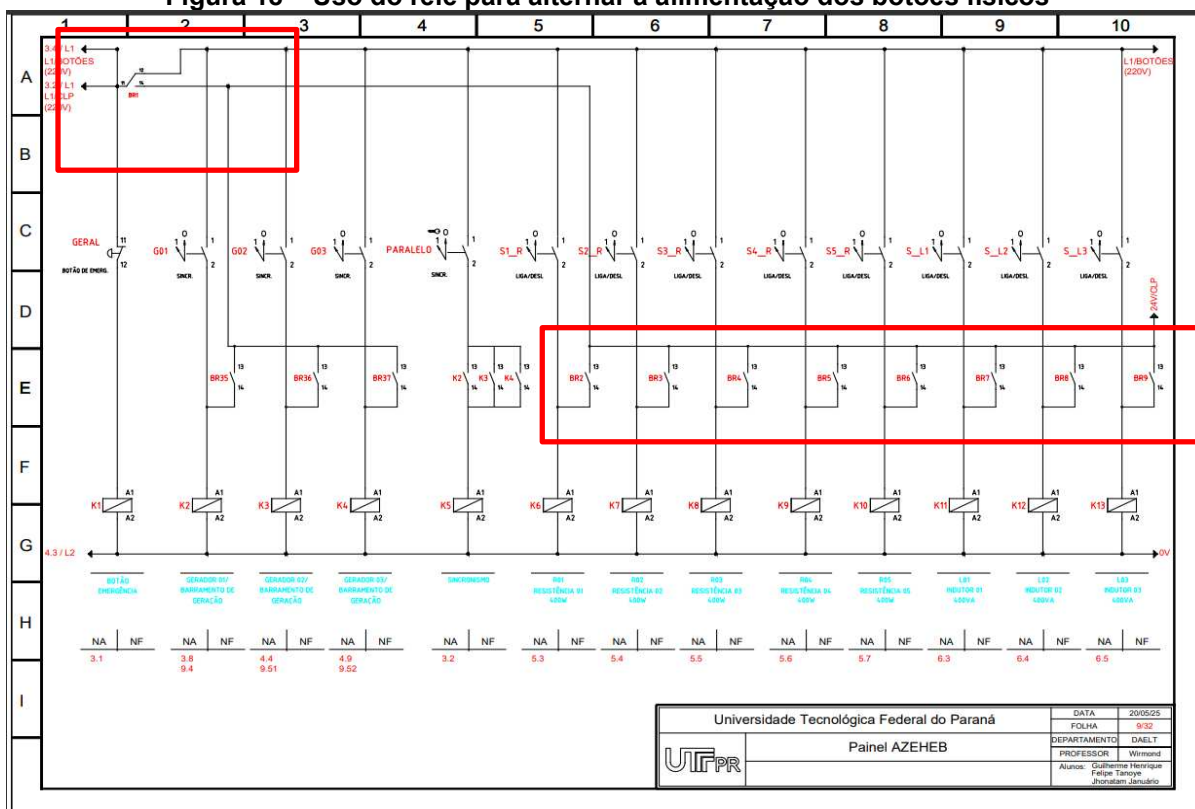
**Figura 17 – Botão alternador de modo local para remoto**



**Fonte: Retrofit Painel AZEHEB – Autoria Própria**

Ao detectar que a chave foi comutada para o modo remoto, o CLP ativa uma saída digital conectada às bobinas de um relé, que comuta a alimentação dos botões físicos do painel para os contatos dos relés controlados pelo CLP, como representado na figura 18. Esses contatos controlados permitem que a ativação dos contadores do painel dependa da lógica programada no controlador. Isso significa que, embora os botões possam ser usados fisicamente, seu efeito é nulo, pois não levam nenhuma alimentação para os atuadores. No retângulo vermelho superior é indicado onde é feita a separação de controle local ou remoto, enquanto o retângulo inferior é mostrado onde é feito o acionamento das cargas através dos contatos dos bornes relés.

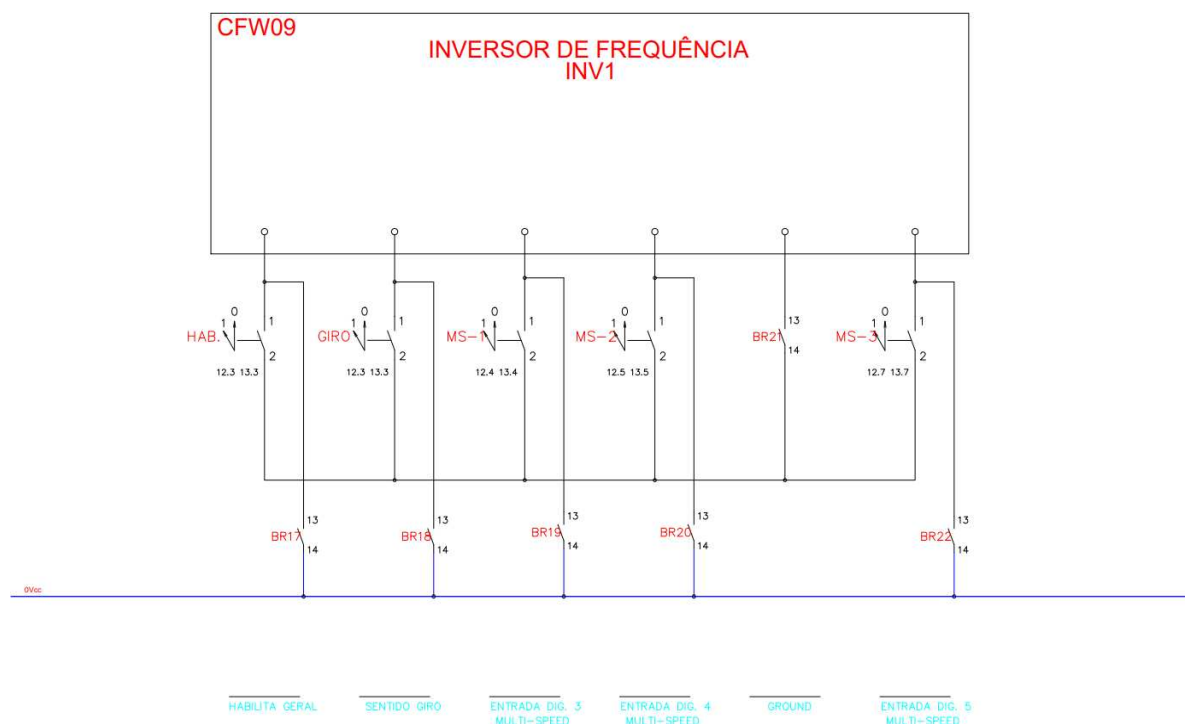
**Figura 18 – Uso do relé para alternar a alimentação dos botões físicos**



**Fonte: Retrofit Painel AZEHEB – Autoria Própria**

Para permitir o controle dos inversores, pelo modo local existente ou pelo novo modo remoto, realizou-se uma intervenção em suas entradas digitais, indicado na figura 19. A solução consistiu em conectar os contatos dos relés acionados pelo CLP em paralelo com os sinais de comando originais, como a habilitação do inversor e a seleção das velocidades (multispeed).

**Figura 19 – Uso de relés para ativação do inversor de frequência pelo CLP**

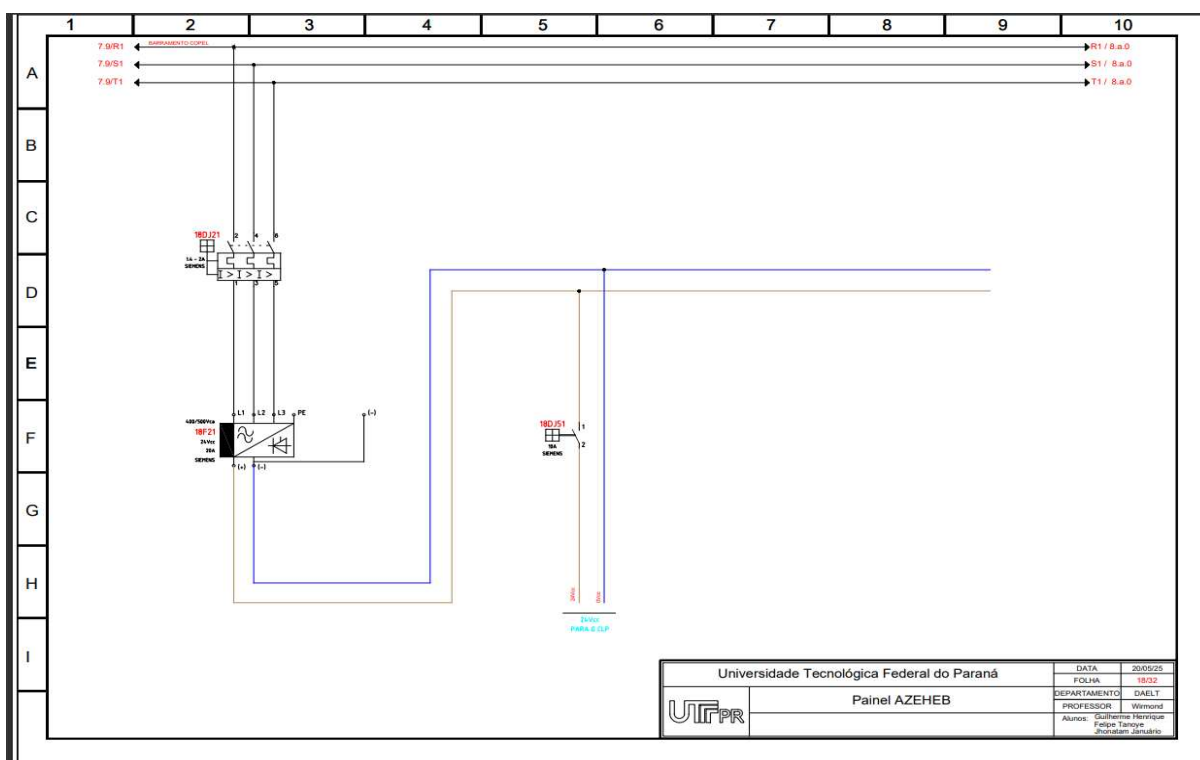


**Fonte: Retrofit Painel AZEHEB – Autoria Própria**

A transição de um sistema de comando convencional para um controle automatizado via CLP introduziu a necessidade de um circuito de baixa tensão em corrente contínua (24Vcc), inexistente no projeto original. Para atender a esta demanda, foi especificada e instalada uma fonte de alimentação chaveada de 20A industrial, conforme figura 20.



**Figura 20 – Alimentação 24Vcc do novo painel**

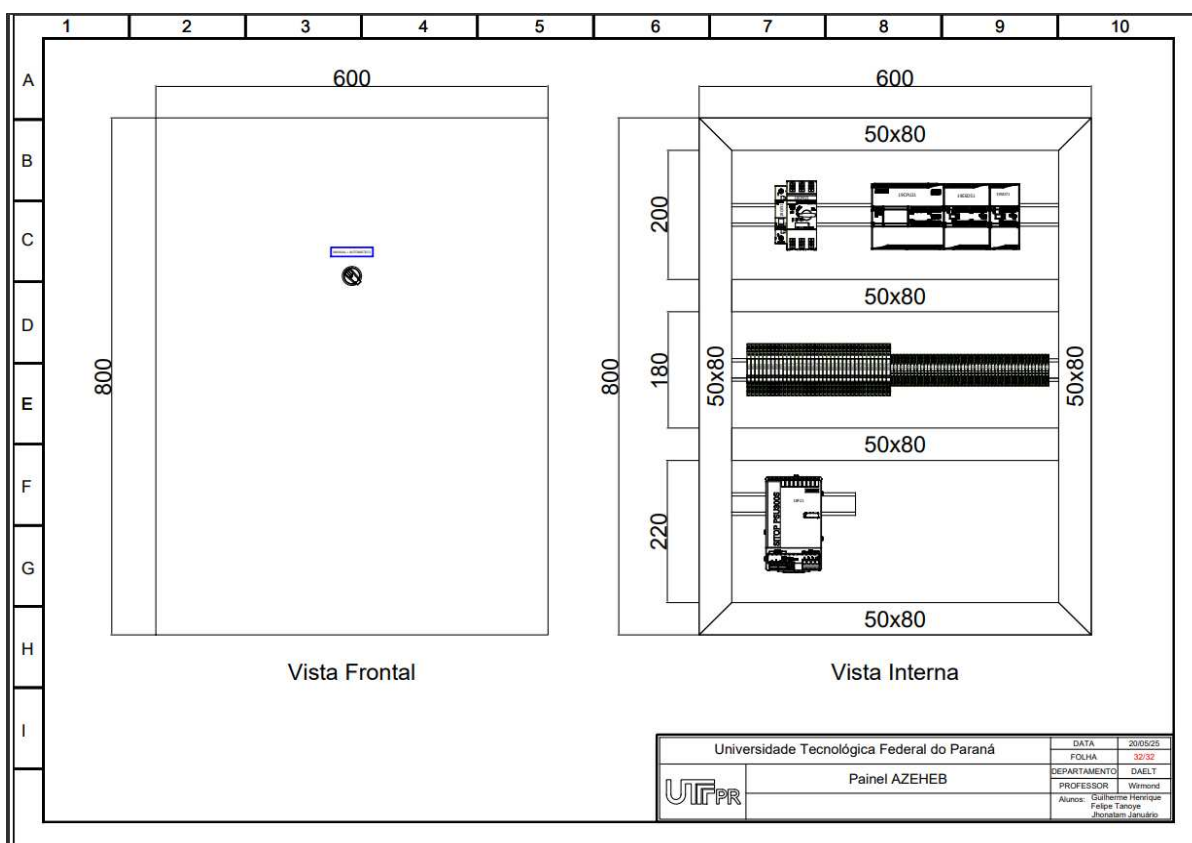


**Fonte: Retrofit Painel AZEHEB – Autoria Própria**

### 7.3 Projeto do Layout do Novo Painel de Automação

A implementação do sistema de automação demandou a adoção de um painel de controle dedicado, uma vez que o painel Azeheb existente não possuía espaço físico adequado para alocar os novos dispositivos, nem atendia aos requisitos de organização e proteção para componentes eletrônicos sensíveis. Diante disso, foi projetado um novo layout, detalhado na figura 21.

Figura 21 – Layout do novo painel



**Fonte: Retrofit Painel AZEHEB – Autoria Própria**

Na parte superior foi posicionado o CLP Siemens 1214C, dois módulos de expansão de 16 saídas digitais e um módulo de comunicação CM 1241 (RS-485) que é responsável pela comunicação ModBus RTU. Ao lado dos componentes de automação foram posicionados dois disjuntores, um para a fonte chaveada e outro para a distribuição de 24Vcc para os componentes de controle. Na parte central do painel ficaram os bornes relés que estão conectados às saídas digitais do CLP e, por fim, na parte inferior do painel foi posicionada a fonte de tensão contínua com capacidade de 20A. Na porta do painel foi instalada uma chave seletora de duas posições, responsável por definir o modo de operação do sistema. Este componente permite ao operador alternar o controle entre o modo 'Local', comandado localmente pelo painel Azeheb, e o modo 'Remoto', gerenciado pela lógica programada no CLP.

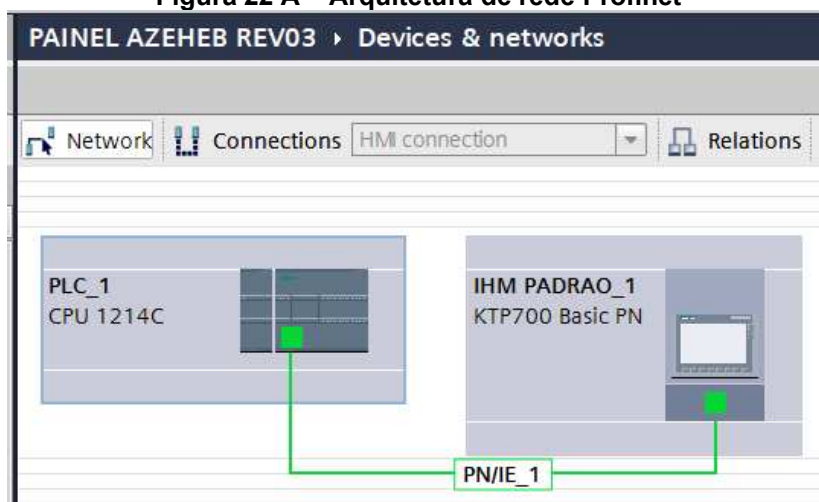
A padronização dos componentes de automação da marca Siemens foi uma decisão estratégica do projeto. Tendo em vista que toda a lógica de controle do CLP e o desenvolvimento do sistema supervisor (IHM) foram realizados na plataforma TIA Portal (Totally Integrated Automation), a utilização de hardware do mesmo fabricante garantiu a compatibilidade nativa e simplificou significativamente a

engenharia e a integração entre os dispositivos.

#### 7.4 Configuração do Hardware no Ambiente de Desenvolvimento (TIA Portal)

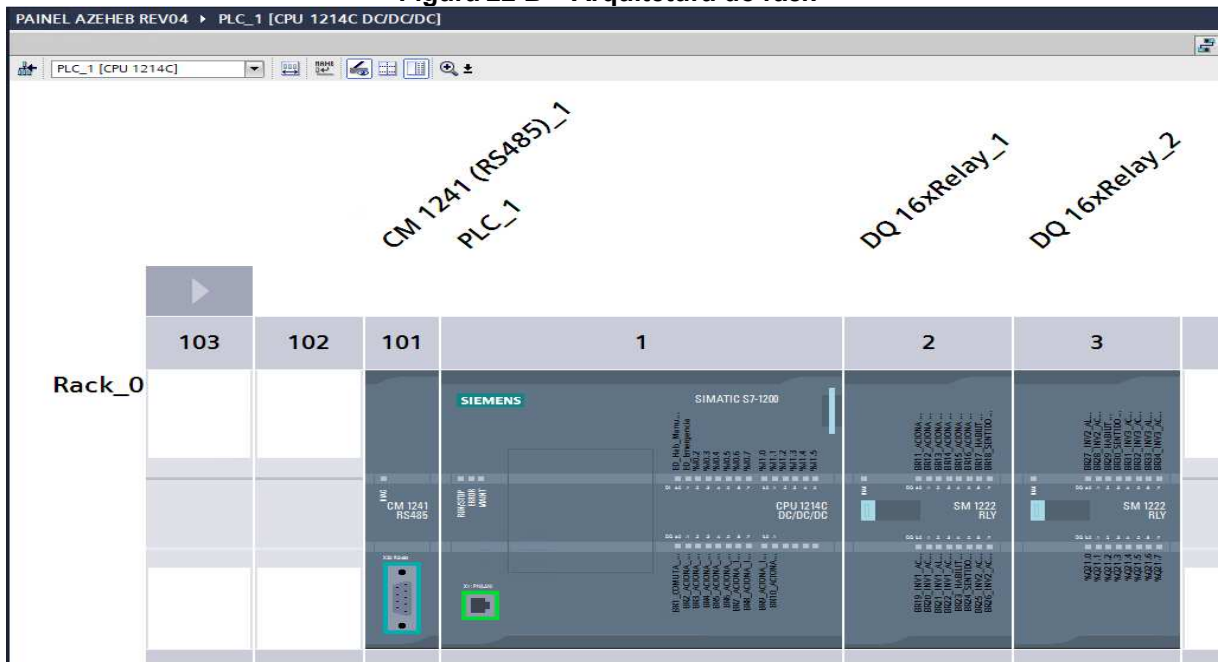
O desenvolvimento do projeto iniciou-se com a configuração da arquitetura de hardware na plataforma TIA Portal. Foi definida a topologia de rede, conforme indicado na figura 22, estabelecendo a comunicação entre o controlador principal, um CLP modelo CPU 1214C, e a Interface Homem-Máquina (IHM) KTP700 Basic PN. Em seguida, detalhou-se a configuração do rack do CLP, adicionando os módulos de expansão necessários para a aplicação, que incluem dois módulos de saídas digitais a relé (DQ 16 x Relay) para o acionamento das cargas e um módulo de comunicação serial CM 1241 (RS-485), que é o hardware base para a comunicação ModBus RTU.

Figura 22 A – Arquitetura de rede Profinet



Fonte: Retrofit Painel AZEHEB – Autoria Própria

**Figura 22 B – Arquitetura do rack**

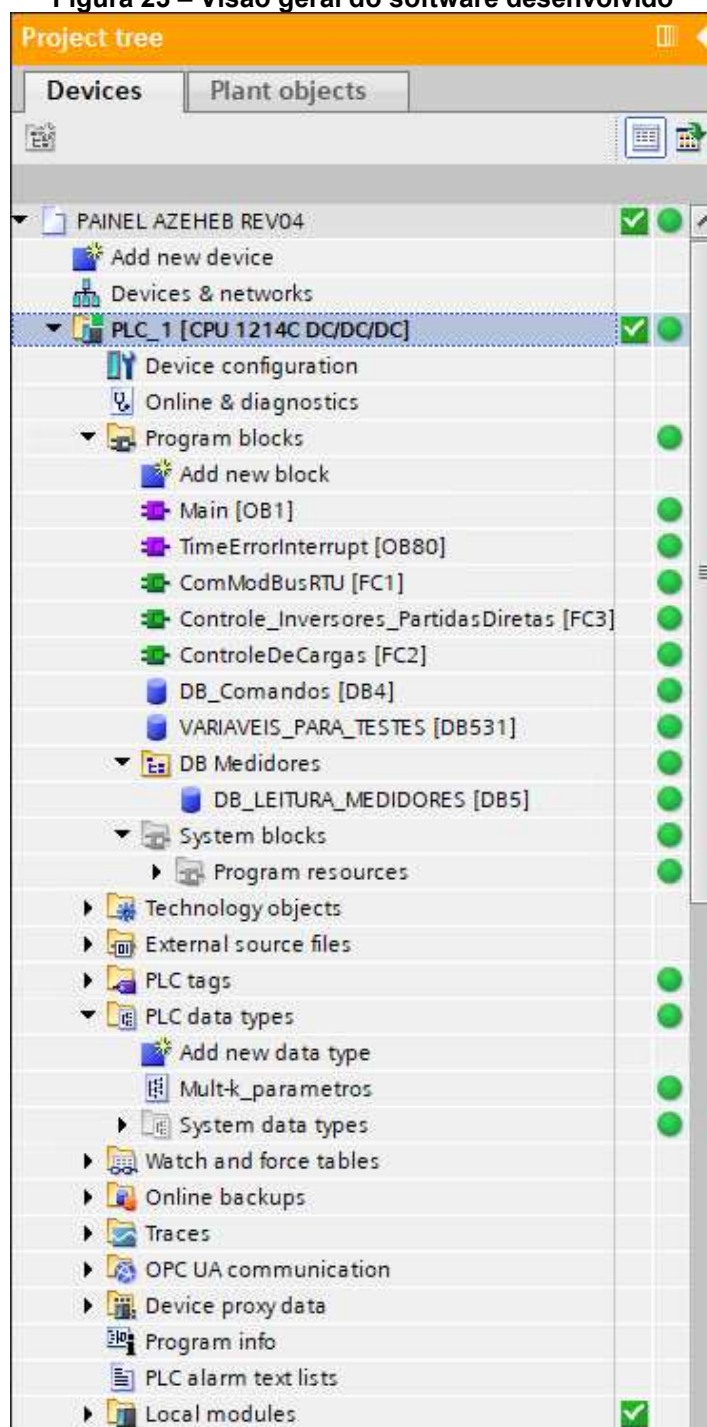


Fonte: Retrofit Painel AZEHEB – Autoria Própria

## 7.5 Estrutura e organização do software

O software foi desenvolvido seguindo uma abordagem modular para facilitar o entendimento, a manutenção e a depuração do código. A lógica foi segmentada em Blocos de Função (FCs) com responsabilidades distintas, como indicado na figura 23. O ciclo principal do programa é executado no Bloco de Organização Main [OB1], que é responsável por chamar sequencialmente as funções principais do sistema.

**Figura 23 – Visão geral do software desenvolvido**



**Fonte: Retrofit Paine AZEHEB – Autoria Própria**

## **7.6 Aquisição de Dados via Rede Modbus RTU**

Uma funcionalidade essencial do sistema é a aquisição de dados de seis multimedidores da família Mult-K da Kron. Esta tarefa é executada pela função ComModBusRTU [FC1], que implementa a comunicação Modbus RTU. Com base no manual do fabricante, foi utilizada a função Read Input Register (Código 0x04) para a leitura das grandezas elétricas. A Tabela 1 apresenta os principais registradores Modbus lidos pelo CLP, com seus respectivos endereços e tipos de dados. O tipo de

dado predominante, IEEE 32-bit fp, refere-se ao formato de Ponto Flutuante (*Floating Point*) de 32 bits, padronizado pela norma IEEE 754. Este formato é utilizado para representar números com casas decimais e, por utilizar 32 bits, cada valor demanda a leitura de dois registradores Modbus de 16 bits consecutivos. A lista completa de registradores pode ser consultada no Anexo B.

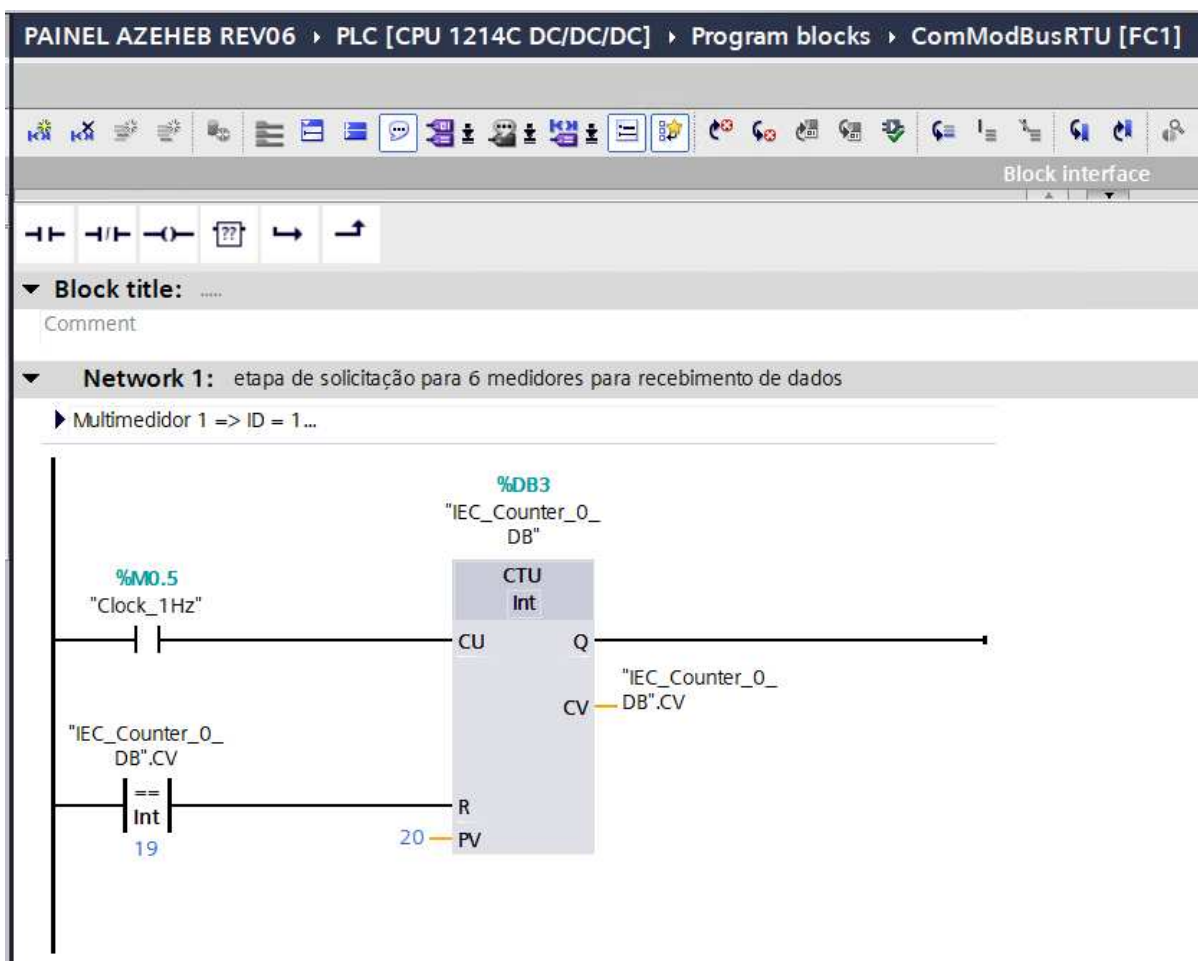
Parâmetro medido	Endereço PLC	Tipo de Dado
Tensão Trifásica (V)	30003, 30004	IEEE 32-bit fp
Tensão Linha-Linha R-S (V)	30085, 30086	IEEE 32-bit fp
Tensão Linha-Linha S-T (V)	30087, 30088	IEEE 32-bit fp
Tensão Linha-Linha T-R (V)	30089, 30090	IEEE 32-bit fp
Corrente Trifásica (A)	30005, 30006	IEEE 32-bit fp
Potência Ativa Trifásica (W)	30013, 30014	IEEE 32-bit fp
Potência Reativa Trifásica (VAr)	30011, 30012	IEEE 32-bit fp
Fator de Potência Trifásico	30007, 30008	IEEE 32-bit fp

**Quadro 1 – Mapeamento dos principais registradores Modbus**

**Fonte: Adaptado de KRON (2023) - Anexo B.**

Para implementar a leitura destes dados, a lógica da função ComModBusRTU [FC1] foi estruturada em três etapas fundamentais, que garantem uma comunicação cíclica e organizada com cada um dos seis multimedidores, sendo basicamente o sequenciamento dos escravos (multimedidores), a configuração da porta de comunicação e a execução de leitura da porta de comunicação. Primeiramente, foi implementado um sequenciador para gerenciar qual medidor será lido a cada momento. Conforme ilustrado na figura 24, utilizou-se um contador (CTU) que é incrementado por um clock de 1 Hz. A cada segundo, o contador avança para o próximo medidor, evitando a sobrecarga da rede ao garantir que apenas uma transação Modbus ocorra por vez.

**Figura 24 – Sequenciamento dos escravos**



**Fonte: Retrofit Painel AZEHEB – Autoria Própria**

A segunda etapa consiste na configuração da porta de comunicação serial RS-485 do módulo CM 1241. Para isso, o bloco Modbus\_Comm\_Load é parametrizado com os dados da comunicação, como o Baud Rate (9600 bps), paridade e o modo de operação, seguindo as especificações do fabricante dos medidores. A figura 24 apresenta a parametrização utilizada.

## 7.7 Detalhamento das interfaces de controle

As IHMs também foram desenvolvidas para atuar no controle dos inversores de frequência, permitindo o acionamento preciso dos motores elétricos e, por consequência, dos geradores acoplados aos seus eixos, conforme a figura 25. Através dessas interfaces, o operador consegue ajustar de forma dinâmica a velocidade dos motores, garantindo a estabilidade e o equilíbrio das cargas no sistema. O controle de excitação dos geradores, integrado à lógica da IHM, possibilita que a tensão gerada se mantenha dentro dos parâmetros ideais, evitando flutuações prejudiciais.

Também foram desenvolvidas IHMs que podem ser utilizadas para o controle de relés através do CLP, possibilitando o acionamento remoto ou local de diferentes tipos de cargas elétricas, conforme a figura 26. Esses relés são responsáveis por

energizar cargas resistivas, capacitivas e indutivas. A atuação sobre essas cargas afeta diretamente parâmetros importantes do sistema elétrico, como o fator de potência, a corrente de partida, e a estabilidade da tensão e frequência. Através da IHM, o operador tem total controle sobre quais cargas serão ativadas, podendo fazer ajustes conforme a demanda energética e a condição da rede.

**Figura 25 – Interfaces Humano-Máquina dos inversores de frequência**



Fonte: Retrofit Painel AZEHEB – Autoria Própria

**Figura 26 – Interfaces Humano-Máquina dos acionamentos de cargas**



Fonte: Retrofit Painel AZEHEB – Autoria Própria



## 7.8 Detalhamento do supervisório

Interfaces Homem-Máquina (IHMs) foram desenvolvidas especialmente para realizar a conexão com o Controlador Lógico Programável (CLP), estabelecendo uma comunicação eficiente entre o operador e o sistema de automação. Integradas ao Mult-K da KRON, essas IHMs permitem exibir de forma clara os principais dados elétricos como tensão, corrente, potência ativa e reativa, além do fator de potência. Através da conexão com o CLP, é possível monitorar e controlar em tempo real o desempenho dos equipamentos elétricos, favorecendo a tomada de decisões rápidas e embasadas em dados técnicos.

**Figura 27 – Interfaces Humano-Máquina dos Multimedidores Mult-K**



**Fonte: Retrofit Painel AZEHB – Autoria Própria**

## 7.9 Viabilidade econômica

A viabilidade econômica é uma etapa fundamental na elaboração e desenvolvimento de projetos industriais, pois permite avaliar, de maneira objetiva e fundamentada, se determinada solução técnica apresenta condições de ser financeiramente executável. Trata-se de um processo que envolve a análise de custos diretos e indiretos, retorno sobre o investimento, relação custo-benefício, entre outros fatores que influenciam a sustentabilidade do projeto no curto, médio e longo prazo. No ambiente industrial contemporâneo, onde a busca por eficiência operacional, redução de custos e aumento de produtividade é constante, as decisões relacionadas à escolha de componentes, tecnologias e fornecedores devem ser tomadas com base

em critérios técnicos e econômicos. Assim, a análise de viabilidade econômica torna-se uma ferramenta estratégica para garantir que os recursos disponíveis sejam aplicados da maneira mais inteligente possível, evitando desperdícios e garantindo o melhor desempenho da solução implantada.

Diante desse cenário, este trabalho propõe o desenvolvimento de um projeto de automação utilizando Controlador Lógico Programável (CLP) e demais componentes industriais da marca Siemens. A escolha da Siemens se dá não apenas pela competitividade nos preços praticados, mas principalmente pela alta qualidade, confiabilidade, durabilidade e tecnologia embarcada em seus produtos. A empresa é amplamente reconhecida no setor industrial por fornecer soluções robustas, com suporte técnico especializado, fácil integração entre dispositivos e excelente desempenho em aplicações críticas. Esses fatores justificam a escolha dos seus produtos como base para este projeto.

A proposta consiste na montagem de um painel elétrico de automação, cujo funcionamento será integralmente dimensionado com base nas normas técnicas e nas boas práticas de engenharia. Para isso, foi elaborada uma lista de materiais contendo todos os componentes necessários, com seus respectivos códigos, quantidades e preços unitários, conforme cotação atualizada fornecida pela Siemens. A seguir será apresentado a tabela 2 com os principais itens orçados.

**Tabela 1 – Tabela de preços dos componentes**

Tabela de Componentes				
Código	Descrição	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total
3RV2011-1BA20	Disjuntor 1,4 - 2 A	1	R\$ 1.205,30	R\$ 1.205,30
6EP1436-2BA10	Fonte de alimentação SITOP 20A	1	R\$ 3.207,48	R\$ 3.207,48
5SL1110-7MB	Disjuntor Curva C monopolar 10A	1	R\$ 46,98	R\$ 46,98
6ES7214-1AG40-0XB0	CPU 1214C, DC/DC/DC, 14DI/10DO/2AI	1	R\$ 5.990,41	R\$ 5.990,41
6ES7954-8LC04-0AA0	Cartão de memória SIMATIC S7, 4 MB	1	R\$ 798,47	R\$ 798,47
6AV2123-2GB03-0AX0	SIMATIC HMI, KTP700 Basic	1	R\$ 5.426,85	R\$ 5.426,85
3RQ3118-2AM00	Relé de encaixe 24VDC	1	R\$ 261,25	R\$ 261,25
6GK1901-1BB10-2AB0	Conector Ethernet Industrial FastConnect RJ45	2	R\$ 60,24	R\$ 120,48
3SU1052-2BF30-0AA0	Seletor de chave, OI, amarelo	1	R\$ 166,22	R\$ 166,22
3SU1510-0AA10-0AA0	Suporte de 3 vias, metálico	1	R\$ 68,67	R\$ 68,67
3SU1400-1AA10-3BA0	Módulo de contato 1NO tipo mola	1	R\$ 82,85	R\$ 82,85
6ES7222-1HH32-0XB0	Saída digital SM1222, 16 DO, relé	2	R\$ 2.419,76	R\$ 4.839,52
6ES7241-1CH30-0XB0	Módulo de comunicação CM 124, RS485	1	R\$ 1.366,40	R\$ 1.366,40
Painel 800x600x200mm		1	R\$ 751	R\$ 751,00
Total				R\$ 24.331,88

**Fonte: Retrofit Painel AZEHEB – Autoria Própria**

Com base na tabela 1, foi possível obter o custo total estimado para a montagem física do painel. Entretanto, considerando os valores elevados de determinados itens e as limitações orçamentárias da equipe, tornou-se inviável a execução prática do projeto dentro do escopo deste trabalho. A soma total dos componentes ultrapassa o orçamento disponível para os alunos, o que inviabiliza a aquisição dos materiais e a montagem efetiva do painel em laboratório. Dessa forma, optou-se por seguir com o desenvolvimento completo do projeto de forma teórica e

digital, abrangendo as seguintes etapas: elaboração do projeto elétrico (diagramas unifilares, multifilares e de comando), programação do CLP utilizando software específico da Siemens (como o TIA Portal), simulação do funcionamento do sistema e elaboração do plano de instalação e montagem. Essa abordagem permite validar a proposta técnica, cumprir os objetivos do projeto e realizar a análise de viabilidade econômica de forma completa, mesmo sem a construção física do painel.

Em resumo, o estudo de viabilidade econômica apresentado neste trabalho visa demonstrar não apenas os custos envolvidos na implementação da solução, mas também sua racionalidade técnica, justificando a escolha dos componentes e evidenciando os desafios enfrentados no processo de tomada de decisão. O resultado obtido servirá como base para decisões futuras, seja em projetos acadêmicos ou na prática profissional, contribuindo para a formação crítica e técnica dos envolvidos.

## 8 CONCLUSÃO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso propôs-se a investigar a viabilidade técnica e econômica da modernização do painel didático AZEHEB da UTFPR. O objetivo central foi desenvolver um projeto de retrofit completo, capaz de transicionar a operação do módulo de um controle local, baseado em botões físicos, para um modo de operação remoto, onde o controle é exercido digitalmente por meio de um sistema supervisório (IHM). Esta modernização visa ampliar a funcionalidade, a segurança e a relevância pedagógica do equipamento para os estudantes de Engenharia Elétrica.

A viabilidade técnica da proposta foi confirmada através da elaboração do projeto de engenharia. Nele, foram definidos os diagramas elétricos para a alternância entre os modos de operação, estruturou-se a arquitetura de automação em um CLP Siemens S7-1200 e desenvolveram-se as interfaces homem-máquina (IHM) na plataforma TIA Portal. O desenvolvimento dessas interfaces atende ao objetivo de centralizar o controle do painel em um sistema supervisório.

Contudo, a análise de viabilidade econômica, detalhada no capítulo 7, revelou-se um desafio significativo. O levantamento de custos dos componentes, com um valor total estimado em R\$ 24.331,88, tornou a execução física do projeto inviável dentro do contexto orçamentário dos autores. Este resultado, embora represente uma limitação prática, é uma conclusão fundamental do estudo, pois evidencia a lacuna entre a disponibilidade de tecnologia de ponta e os recursos disponíveis em ambientes acadêmicos.

A principal contribuição deste trabalho reside na entrega de um projeto de engenharia completo e pronto para a fase de implementação. O conjunto de diagramas elétricos, a lógica de programação em Ladder, a configuração do supervisório e o detalhamento dos componentes servem como um roteiro preciso e profissional para uma futura montagem. Esta documentação representa um ativo de grande valor para a UTFPR, pois economiza tempo e recursos de engenharia em futuras tentativas de executar esta modernização, além de servir como material de consulta para outros projetos de automação.

Como sugestão para trabalhos futuros, a primeira etapa seria a simulação do projeto aqui desenvolvido para validar a lógica de controle antes da montagem. Posteriormente, recomenda-se a busca por parcerias ou fontes de fomento que

possam viabilizar economicamente a execução do painel. Adicionalmente, futuras pesquisas poderiam expandir o sistema supervisório para incluir lógicas de controle verdadeiramente autônomas, como o acionamento de cargas baseado em parâmetros pré-definidos, elevando ainda mais o nível de automação do módulo.

Em suma, este trabalho cumpre seus objetivos ao comprovar a excelência técnica da solução de retrofit para o painel AZEHEB e, ao mesmo tempo, mapear de forma transparente os desafios econômicos para sua concretização. O projeto final consolida-se como um recurso didático robusto e uma base sólida para a contínua modernização dos laboratórios da UTFPR, reforçando a integração entre os conceitos de geração de energia, controle e supervisão industrial.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6023: informação e documentação – Referências – Elaboração**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10520: informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

CEI/IEC – COMISSÃO ELETROTÉCNICA INTERNACIONAL. **Letter symbols to be used in electrical technology. Part 2: Telecommunications and electronics**. 4. ed. International Standard IEC 60027-2, 1999.

CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos elétricos**. 3. ed. São Paulo: Érica, 2008a.

FRANCHI, Claiton Moro; CAMARGO, Valter Luís Arlindo de. **Controladores lógicos programáveis – Sistemas discretos**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2008b.

GONZAGA, Arthur Simões. **Estudo de técnica de modulação por largura de pulso (PWM) aplicado a inversores trifásicos**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Eletrônica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

HERMAN, Stephen L. **Industrial motor control**. 7. ed., Revised. Cengage Learning, 2013.

KINGSLEY JÚNIOR, Charles; UMANS, Stephen D. (coord.). **Máquinas elétricas com introdução à eletrônica de potência**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. 648 p. Disponível em: **【link da fonte】** . Acesso em: 13 fev. 2025.

MIRANDA, Maicon de. **Desenvolvimento de um sistema para o controle de excitação de campo de um gerador síncrono**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul, 2024.

PETRUZELLA, Frank D. **Controladores lógicos programáveis**. Tradução: Romeu Abdo. Revisão técnica: Antonio Pertence Júnior. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

SAVOLDI, Jean. **Estudo do comportamento de um contator de corrente alternada na presença de afundamento de tensão**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2023.

SOUZA, Eduardo Luís da Silva. **Redes de comunicação industrial**. Monografia – Universidade São Francisco, Campinas, 2010.

SPIEL, Angelo Augusto; OLIVEIRA, Heriwalto Fatiga Rodrigues de; BLASZKOWSKI, Maurício. **Desenvolvimento de um supervisor para monitoramento de grandezas elétricas no módulo de ensaio de máquinas CA AZEHEB**. 2013. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Automação Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

SPIEL, Angelo Augusto; OLIVEIRA, Heriwalto Fatiga Rodrigues de; BLASZKOWSKI, Maurício. **Painel elétrico AZEHEB**. 2012. 16 f. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

WEG Equipamentos Elétricos S.A. **Guia de aplicação: inversores de frequência**. 3. ed. Jaraguá do Sul: WEG, 2015.

BYTUNE ELECTRONICS CO., LTD. **Electrical collector ring with competitive price**. Disponível em: <https://www.btslipring.com/electrical-collector-ring-with-competitive>



## **Anexo A - Protocolo MODBUS – Família Mult-K**



## Protocolo MODBUS – Família Mult-K

Revisão 4.7

Maio/2023

### ÍNDICE

Capítulo	Página
1 - Características	2
2 - Read Input Status	3
3 - Read Holding Register	3
4 - Configuração da Sequência de Ponto Flutuante	4
5 - Read Input Register (0x04H) – IEE 32 bit	5
6 - Force Single Coil	7
7 - Preset Single Register	8
8 - Read Exception Status	9
9 - Preset Multiple Register	10
10 - Report Slave ID	11
11 - Config Address	11
12 - Read Input Register – UINT 16/32 bits e INT 16/32 bits	12
12.1 - Tratamento para os Registros UINT 16/32 bits	13
12.2 - Tratamento para os Registros INT 16/32 bits	21
13 - Timing Protocolo Modbus	30
14 - Conversão IEE-754 Float Point 32-bit Para Decimal	31



## Protocolo MODBUS – Família Mult-K

Revisão 4.7

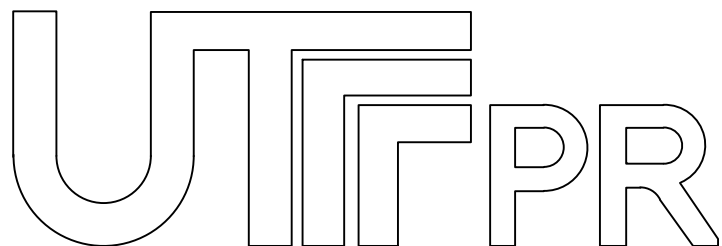
Maio/2023

### 5. READ INPUT REGISTERS (0x04) - IEEE 32-bit

Grandezas Elétricas: podem ser lidos até 94 registros de uma única vez (de 30001 a 30094).

Endereço (PLC)	REG # (HEX)	DESCRIÇÃO	TIPO	RANGE
30001, 30002	0x00	N5	Número de Série	Unsigned int 32-bit (MSB, LSB)
30003, 30004	0x02	U0	Tensão Trifásica (V)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30005, 30006	0x04	I0	Corrente Trifásica (A)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30007, 30008	0x06	FP	Fator de Potência Trifásico	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30009, 30010	0x08	S0	Potência Aparente Trifásica (VA)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30011, 30012	0x0A	Q0	Potência Reativa Trifásica (VAr)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30013, 30014	0x0C	P0	Potência Ativa Trifásica (W)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30015, 30016	0x0E	F	Frequência (Hz)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30017, 30018	0x10	U1N	Tensão Linha-Neutro 1 (V)****	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30019, 30020	0x12	U2N	Tensão Linha-Neutro 2 (V)****	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30021, 30022	0x14	U3N	Tensão Linha-Neutro 3 (V)****	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30023, 30024	0x16	I1	Corrente Linha 1 (A)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30025, 30026	0x18	I2	Corrente Linha 2 (A)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30027, 30028	0x1A	I3	Corrente Linha 3 (A)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30029, 30030	0x1C	P1	Potência Ativa Linha 1 (W)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30031, 30032	0x1E	P2	Potência Ativa Linha 2 (W)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30033, 30034	0x20	P3	Potência Ativa Linha 3 (W)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30035, 30036	0x22	Q1	Potência Reativa Linha 1 (VAr)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30037, 30038	0x24	Q2	Potência Reativa Linha 2 (VAr)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30039, 30040	0x26	Q3	Potência Reativa Linha 3 (VAr)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30041, 30042	0x28	S1	Potência Aparente Linha 1 (VA)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30043, 30044	0x2A	S2	Potência Aparente Linha 2 (VA)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30045, 30046	0x2C	S3	Potência Aparente Linha 3 (VA)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30047, 30048	0x2E	FP1	Fator de Potência Linha 1	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30049, 30050	0x30	FP2	Fator de Potência Linha 2	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30051, 30052	0x32	FP3	Fator de Potência Linha 3	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30053, 30054	0x34	EA+	Energia Ativa Positiva (kWh)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30055, 30056	0x36	ER+	Energia Reativa Positiva (kVarh)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30057, 30058	0x38	EA-	Energia Ativa Negativa (kWh)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30059, 30060	0x3A	ER-	Energia Reativa Negativa (kVarh)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30061, 30062	0x3C	MDA	Max. Demanda Ativa (kW)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30063, 30064	0x3E	DA	Demanda Ativa (kW)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30065, 30066	0x40	MDS	Max. Demanda Aparente (kVA)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30067, 30068	0x42	DS	Demanda Aparente (kVA)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30085, 30086	0x54	U12	Tensão Linha-Linha 12 (V)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30087, 30088	0x56	U23	Tensão Linha-Linha 23 (V)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30089, 30090	0x58	U31	Tensão Linha-Linha 31 (V)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30091, 30092	0x5A	Umax	Max. Tensão Trifásica (V)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30093, 30094	0x5C	Imax	Max. Corrente Trifásica (A)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30095, 30096	0x5E	EDP-1	Contador EDP-1 ***	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30097, 30098	0x60	EDP-2	Contador EDP-2 ***	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30099, 30100	0x62	EAP	Contador Parcial de Energia** (kWh)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30101, 30102	0x64		Corrente de Neutro* (A)	IEEE 32-bit fp (F2,F1,F0,EXP)
30201	0xC8	THDU 1	THD – Tensão Linha 1	Inteiro 16-bit (MSB, LSB)
30202	0xC9	THDU 2	THD – Tensão Linha 2	Inteiro 16-bit (MSB, LSB)
30203	0xCA	THDU 3	THD – Tensão Linha 3	Inteiro 16-bit (MSB, LSB)
30204	0xCB	THDI 1	THD – Corrente Linha 1	Integer 16-bit (MSB, LSB)
30205	0xCC	THDI 2	THD – Corrente Linha 2	Integer 16-bit (MSB, LSB)
30206	0xCD	THDI 3	THD – Corrente Linha 3	Integer 16-bit (MSB, LSB)
30.221	0xDD	Erro	Código de Erro	Int 8-bit (MSB=0, LSB)

## **Anexo B - Projeto elétrico**



Instituição : Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Projeto : Painel Elétrico AZEHEB

Professor Orientador : Vilmair Wirmond

Projetista : Guilherme Henrique, Felipe Tanoye, Jhonatan Januário

Alimentação Força : 220Vca

Corrente Nominal : 25A

Criado em : 16/04/2025

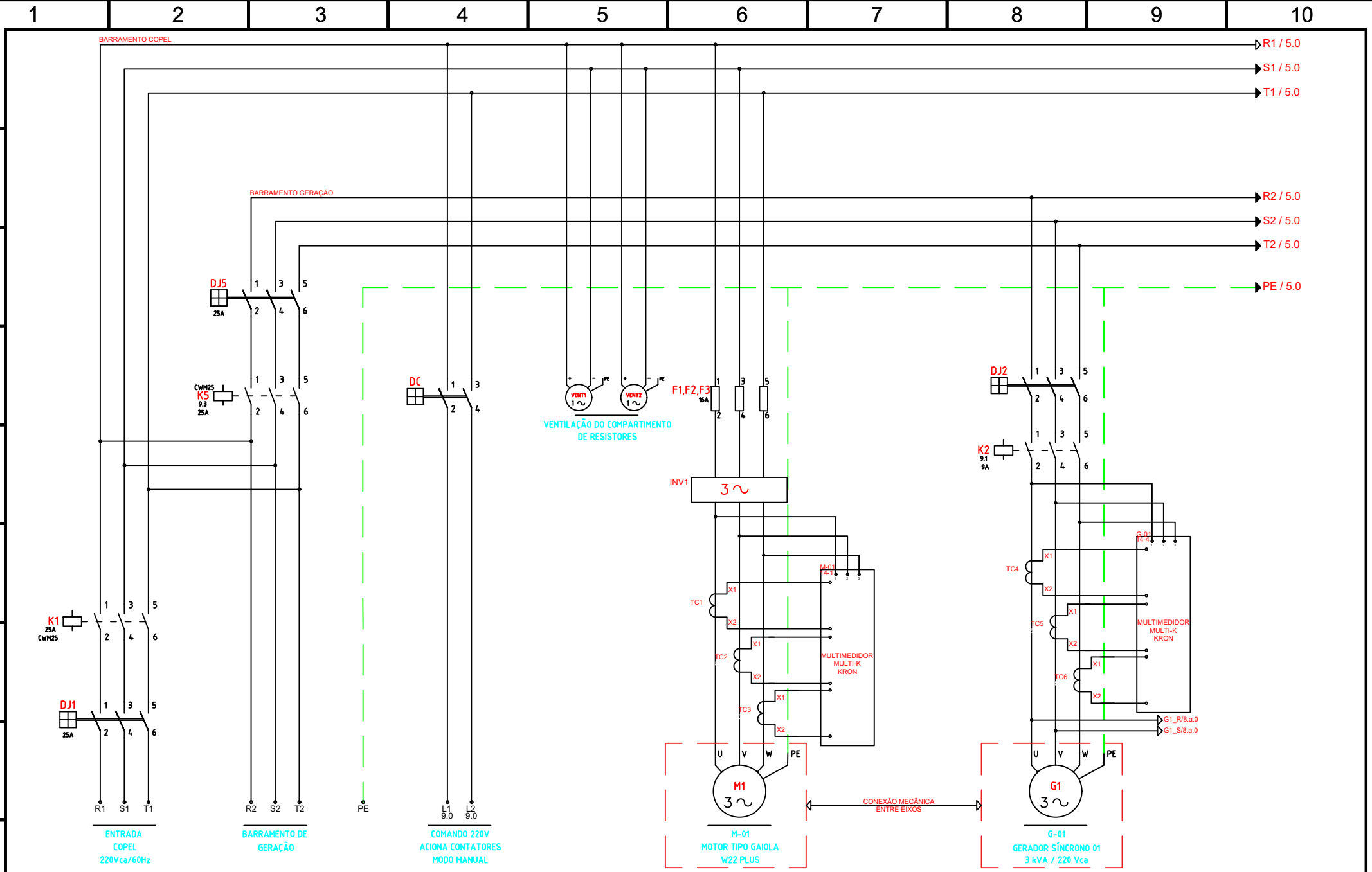
Total de página do projeto : 33

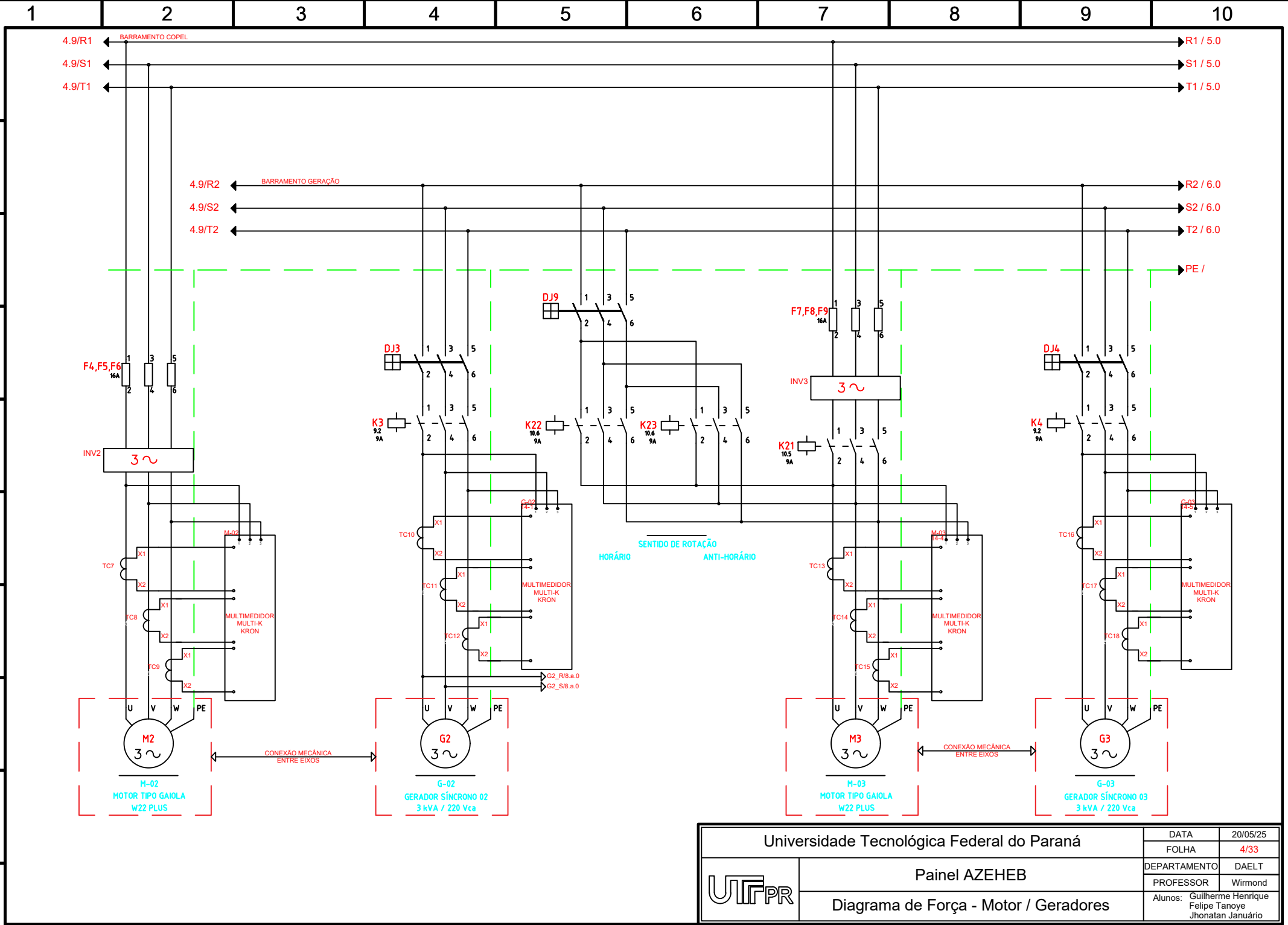
Editado em : 20/06/2025

---

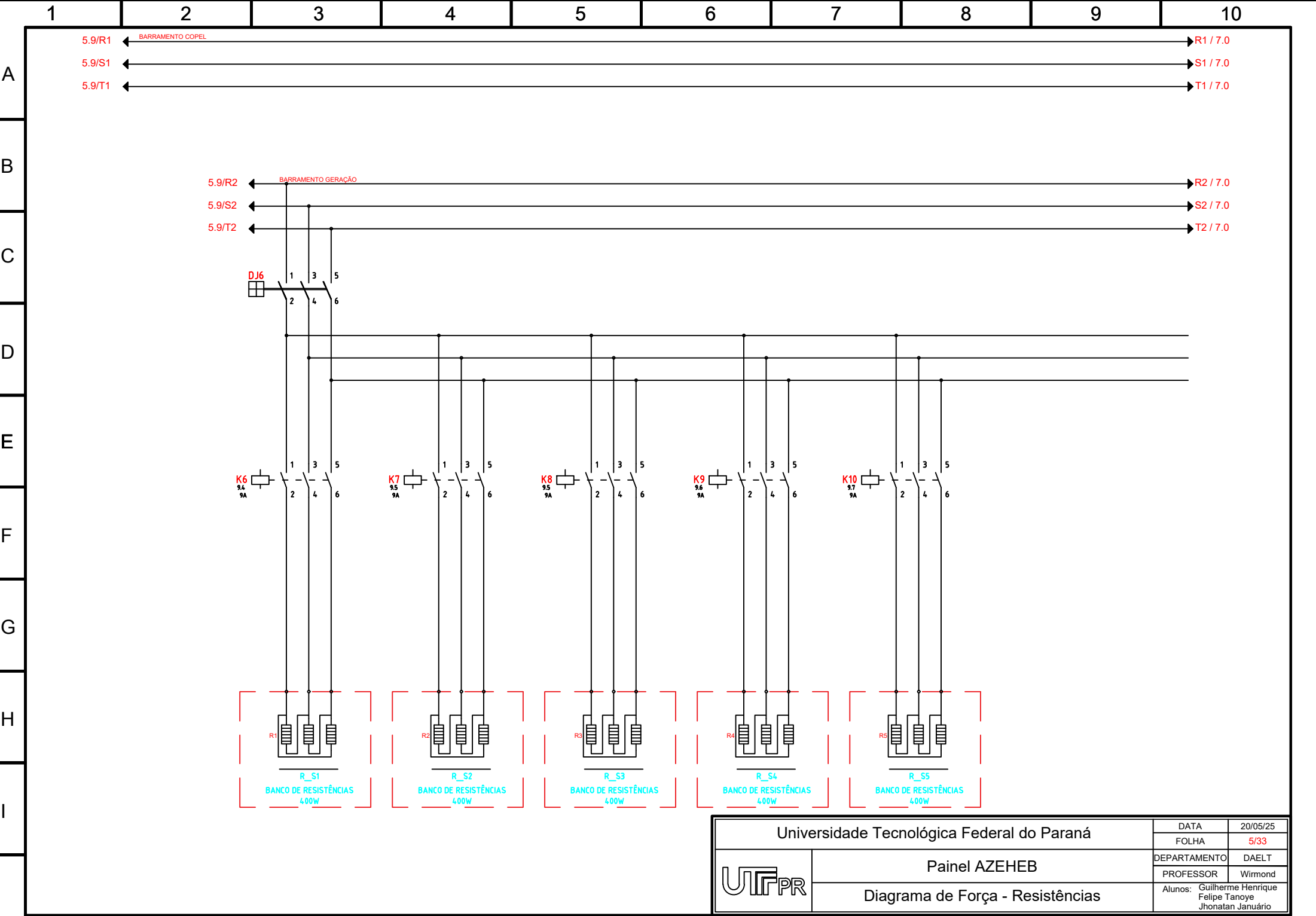
# Índice

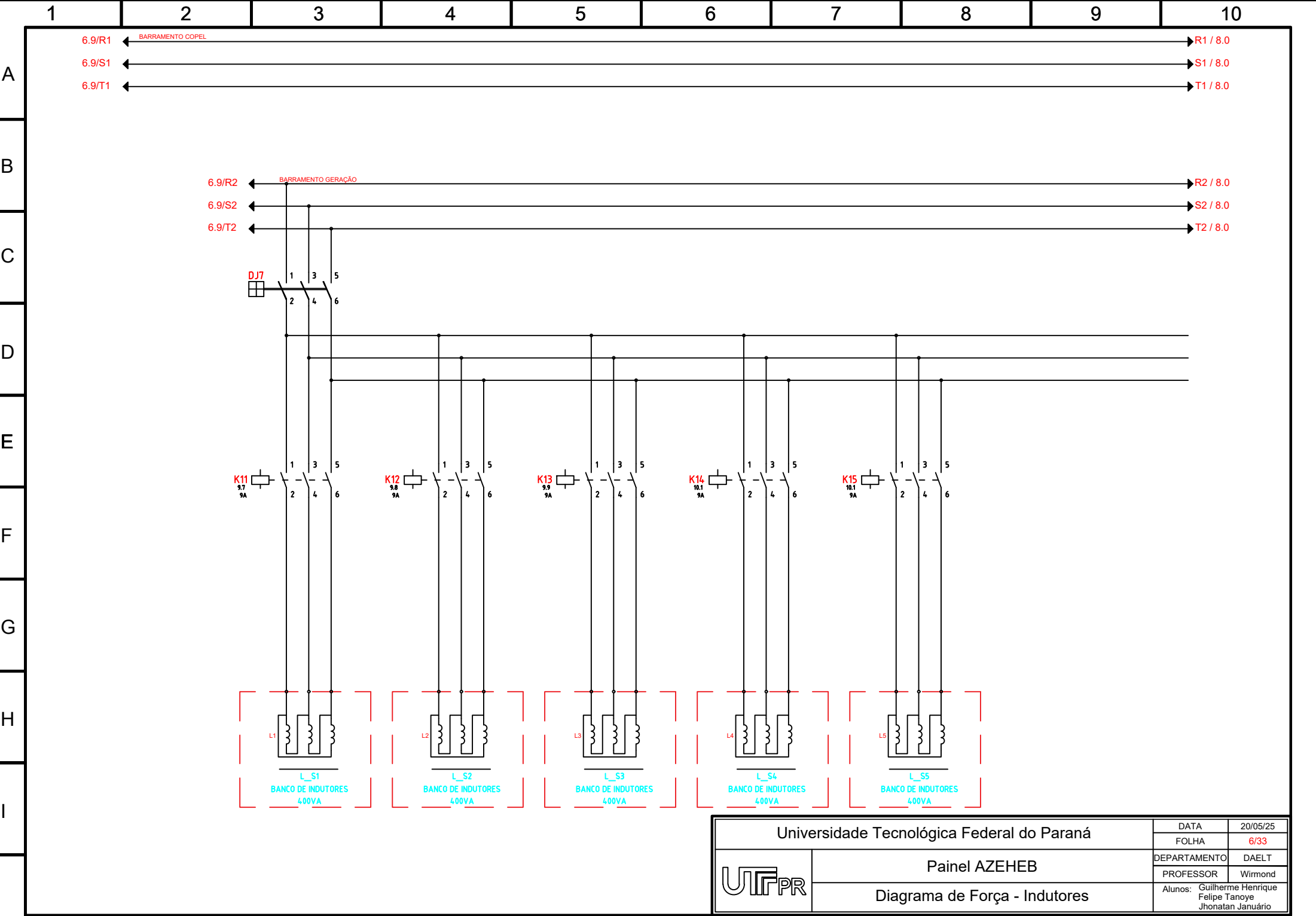
Página	Nome da Página	Página	Nome da Página
1	Capa	24	Saída Digital
2	Índice	25	Saída Digital
3	Diagrama de Força - Motor / Geradores	26	Saída Digital
4	Diagrama de Força - Motor / Geradores	27	Saída Digital
5	Diagrama de Força - Resistências	28	Saída Digital
6	Diagrama de Força - Indutores	29	Saída Digital
7	Diagrama de Força - Capacitores	30	Saída Digital
8	Coluna de Sincronismo	31	Saída Digital
9	Diagrama de Comando	32	Régua de Borne
10	Diagrama de Comando	33	Layout 2D
11	Inversor de Frequência - 1		
12	Inversor de Frequência - 2		
13	Inversor de Frequência - 3		
14	Rede RS-485		
15	TAP - Sincronismo		
16	Reserva		
17	Reserva		
18	Fonte 24Vcc		
19	Diagrama da Cpu		
20	Entrada Digital		
21	Entrada Digital		
22	Saída Digital		
23	Saída Digital		

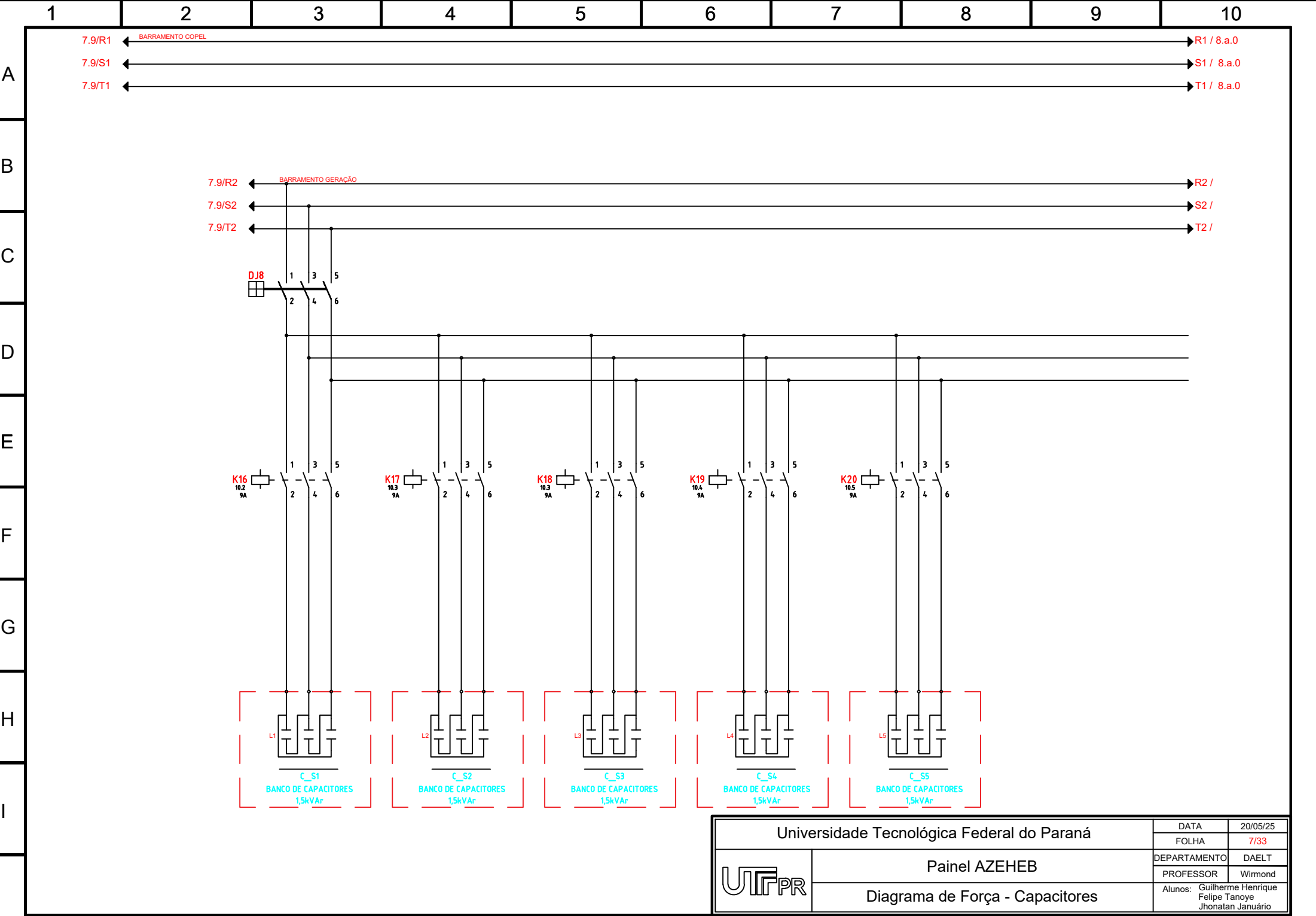


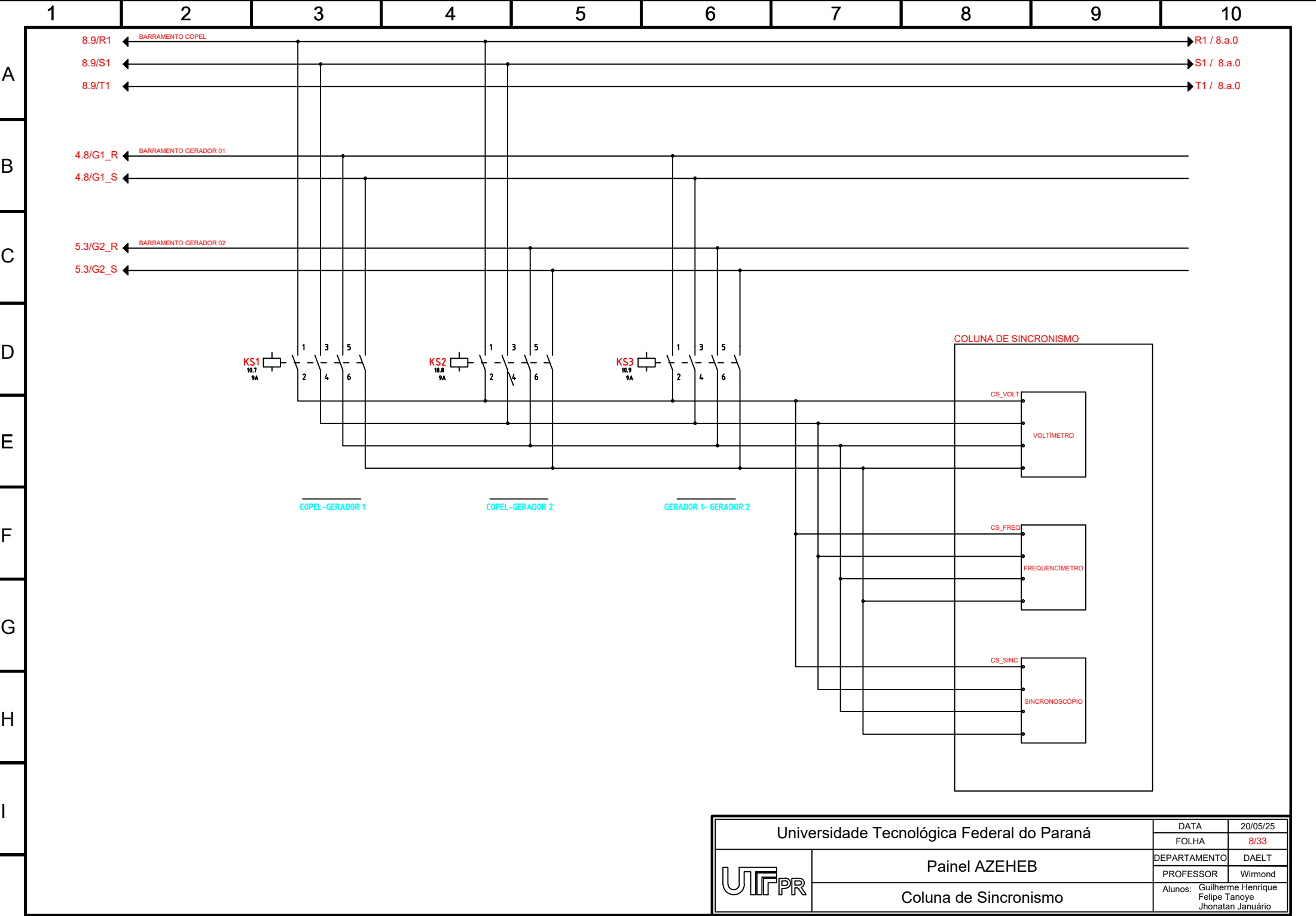


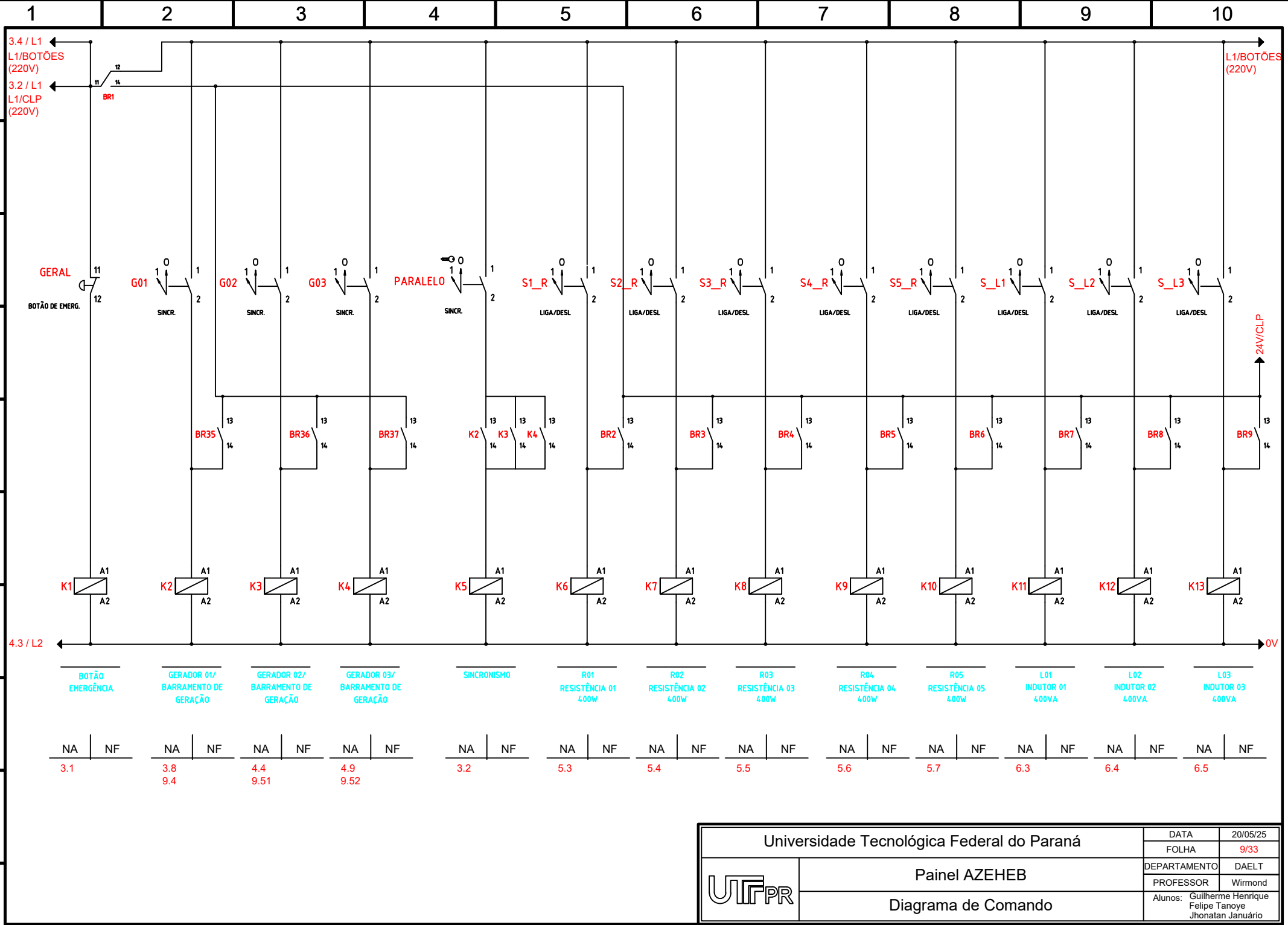


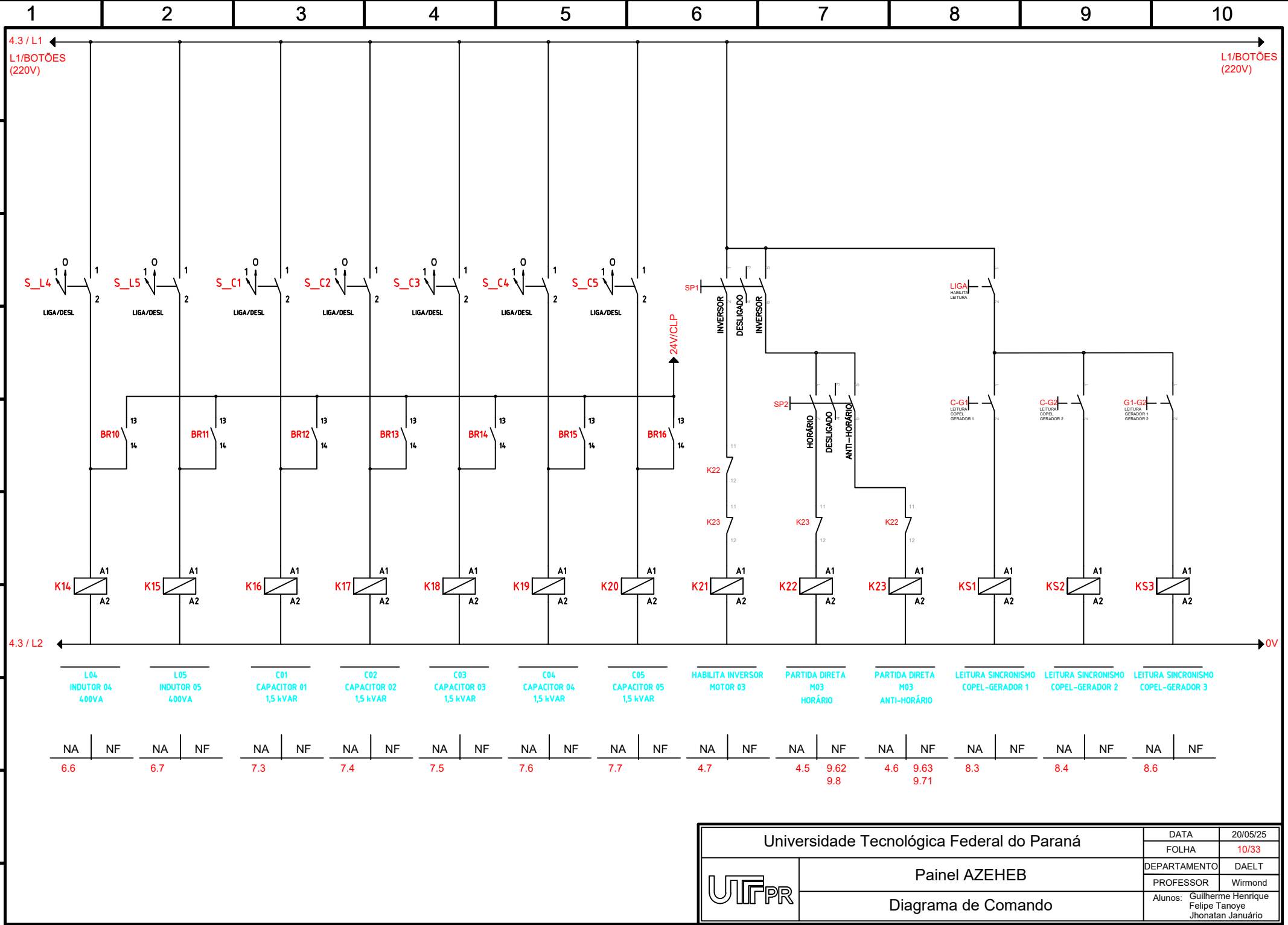






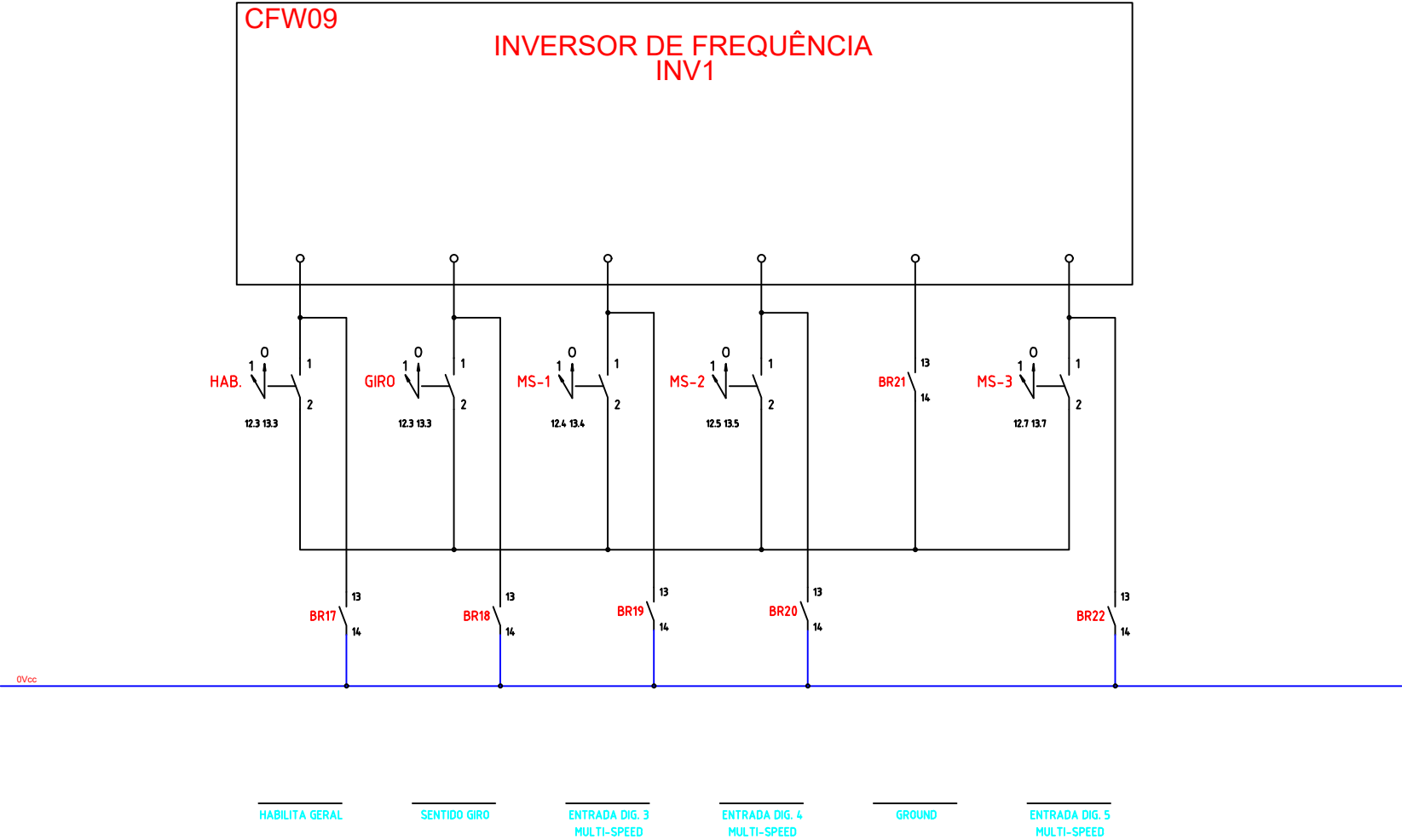






12345678910

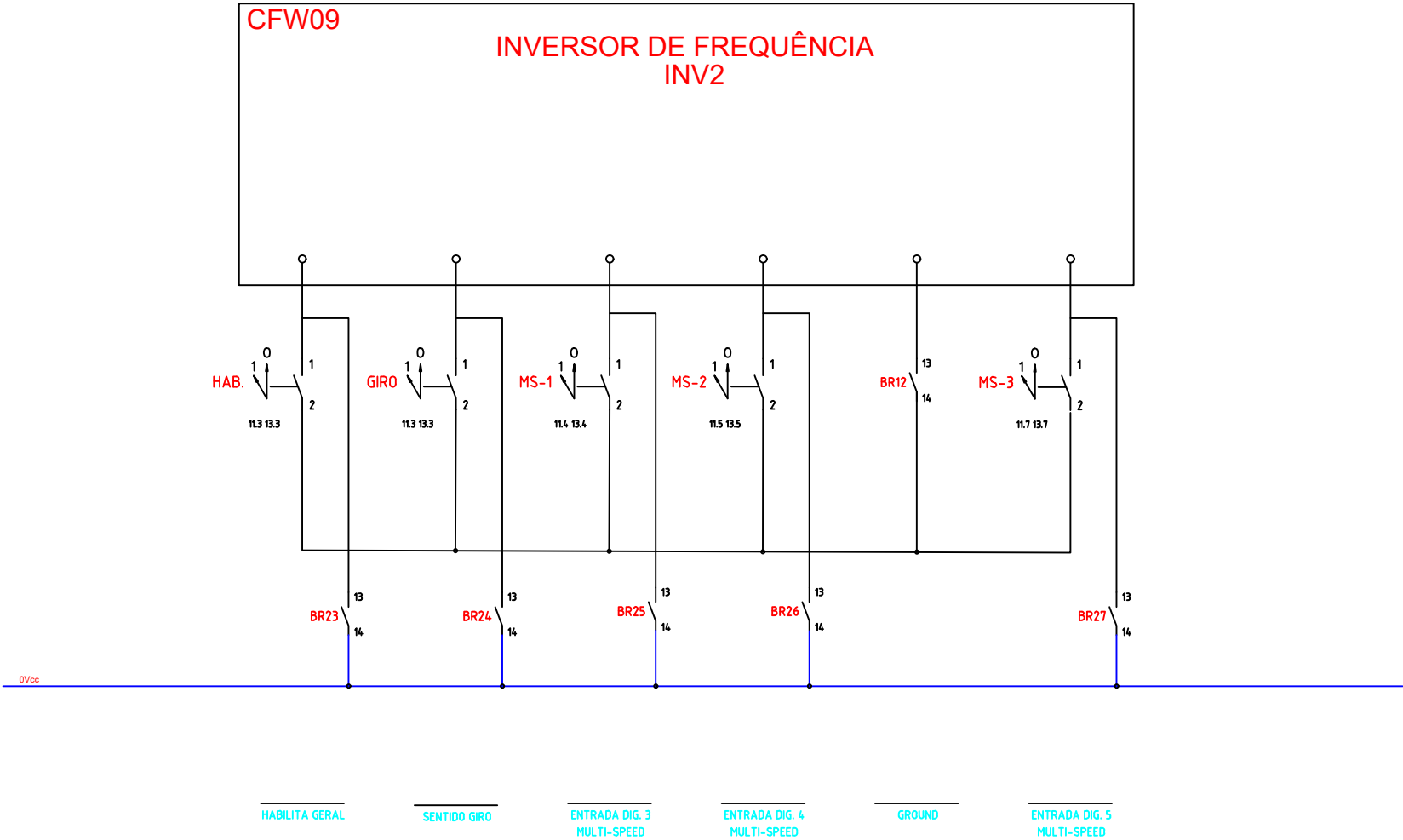
A  
B  
C  
D  
E  
F  
G  
H  
I



Universidade Tecnológica Federal do Paraná		DATA	20/05/25
		FOLHA	11/33
UTFPR	Painel AZEHEB	DEPARTAMENTO	DAELT
	Inversor de Frequência - 1	PROFESSOR	Wimond
		Alunos:	Guilherme Henrique Felipe Tanoye Jhonatan Januário

12345678910

A  
B  
C  
D  
E  
F  
G  
H  
I

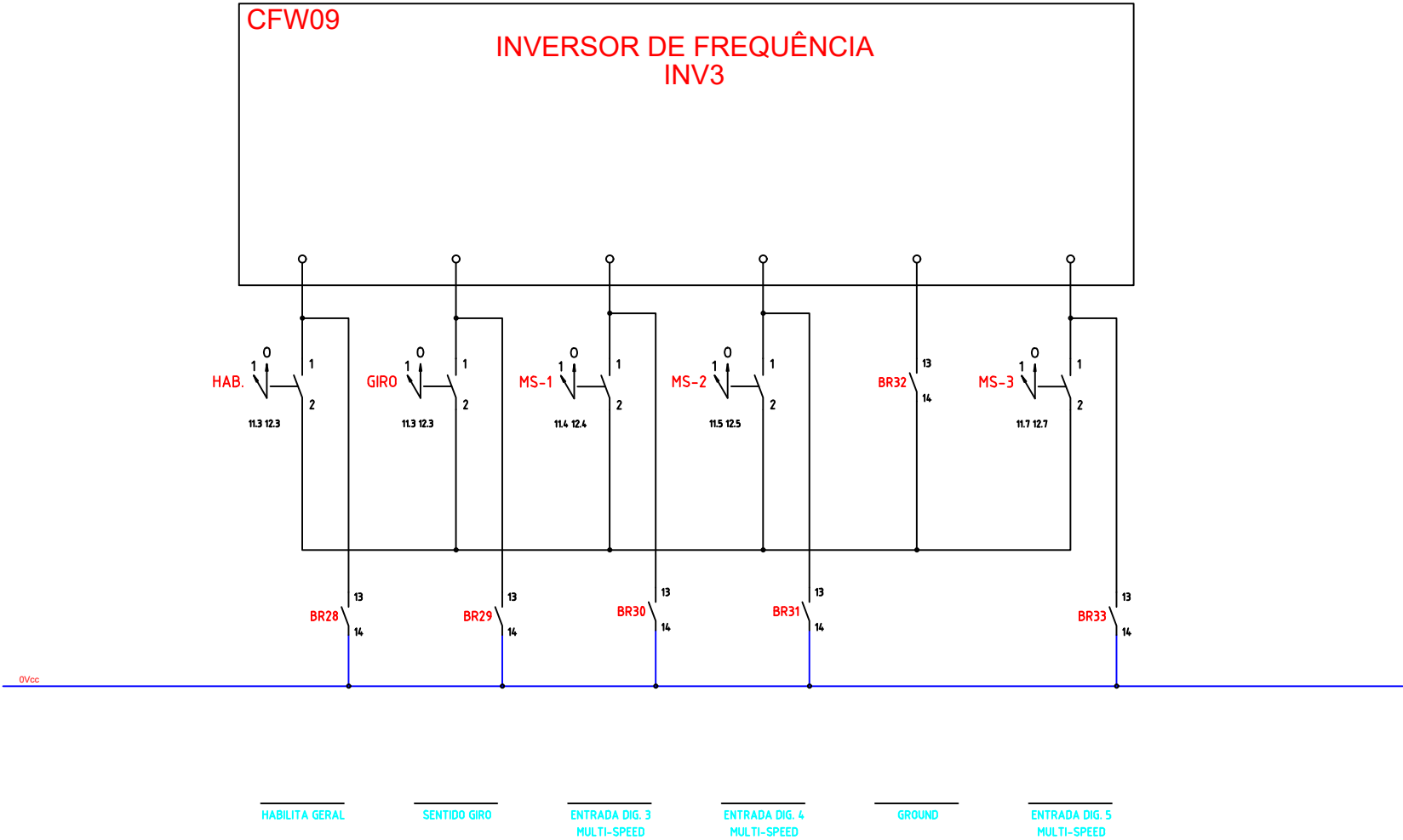


Universidade Tecnológica Federal do Paraná		DATA	20/05/25
		FOLHA	12/33
UTFP	Painel AZEHEB	DEPARTAMENTO	DAELT
	Inversor de Frequência - 2	PROFESSOR	Wimond
		Alunos:	Guilherme Henrique Felipe Tanoye Jhonatan Januário

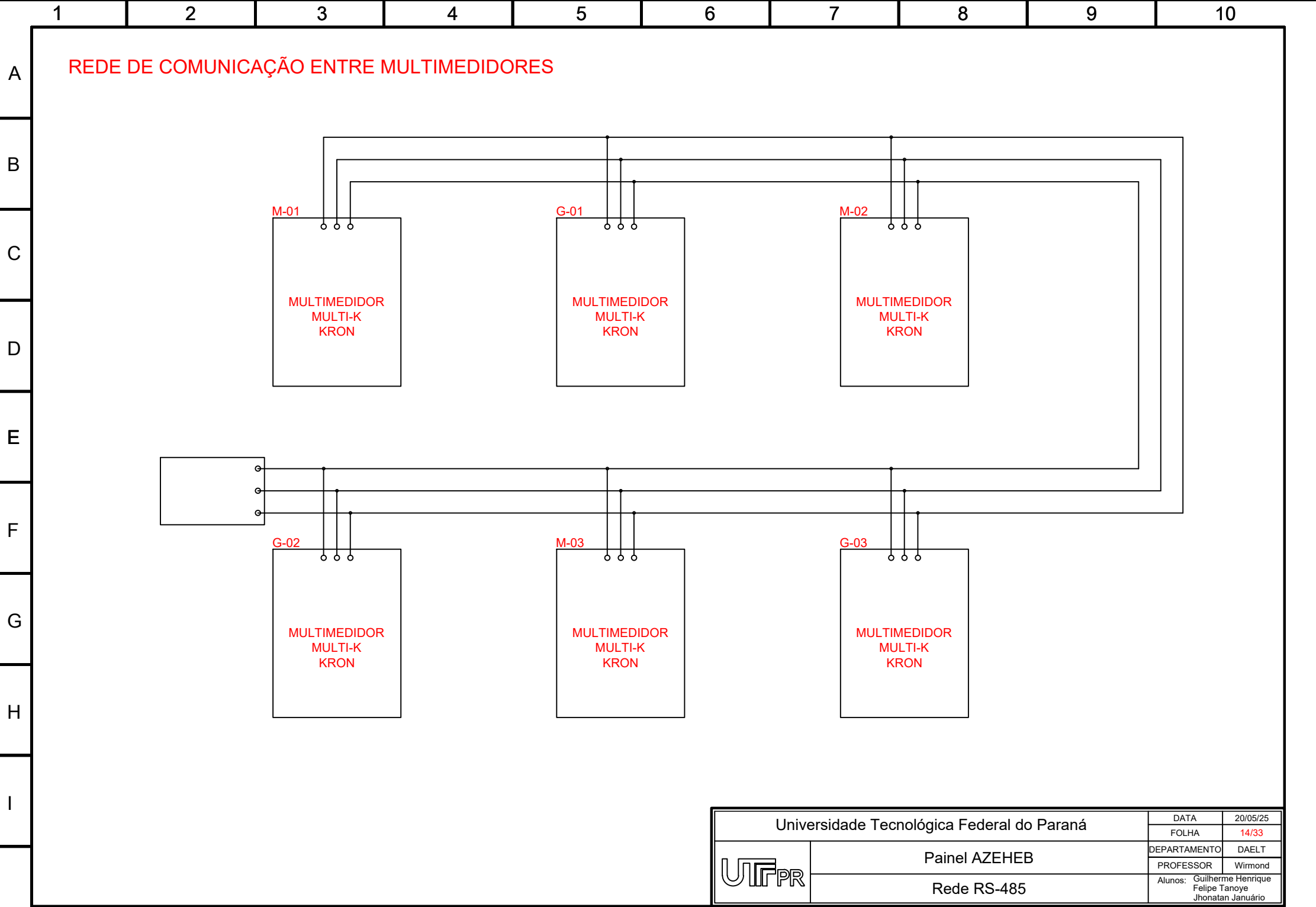


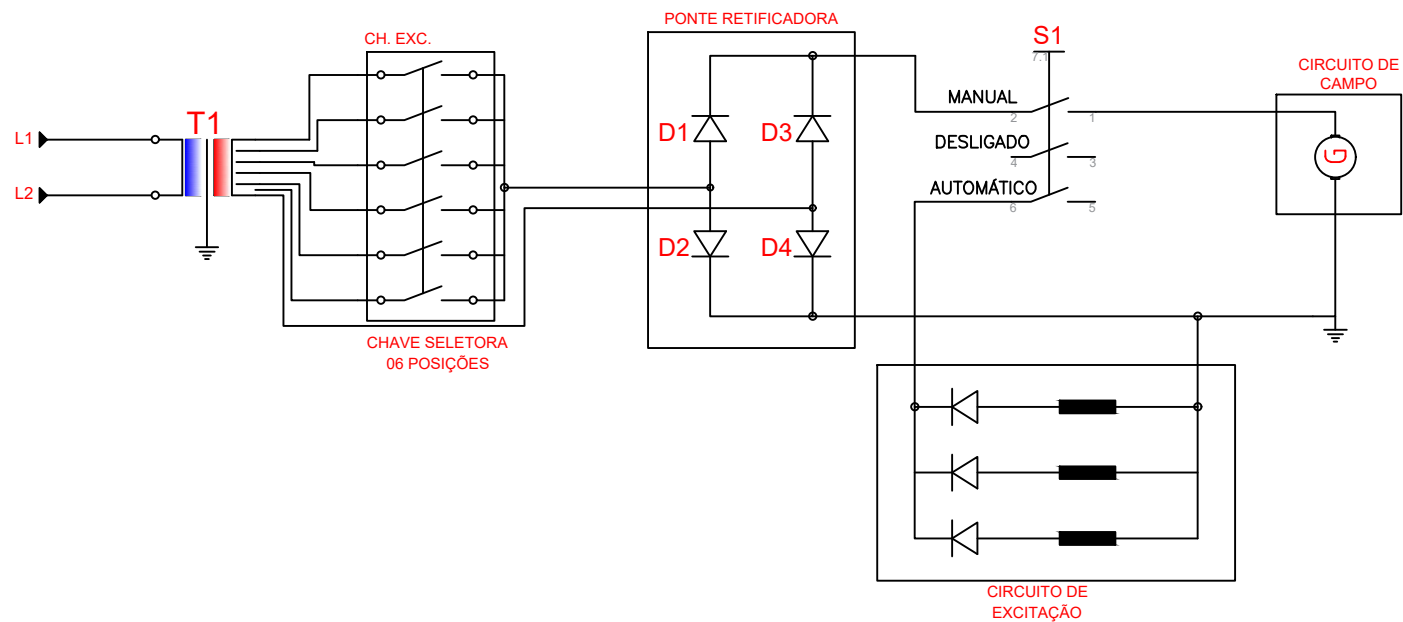
12345678910


A  
B  
C  
D  
E  
F  
G  
H  
I









Universidade Tecnológica Federal do Paraná		DATA	20/05/25
		FOLHA	13/33
UTFP	Painel AZEHEB	DEPARTAMENTO	DAELT
	Inversor de Frequência - 3	PROFESSOR	Wimond
		Alunos:	Guilherme Henrique Felipe Tanoye Jhonatan Januário

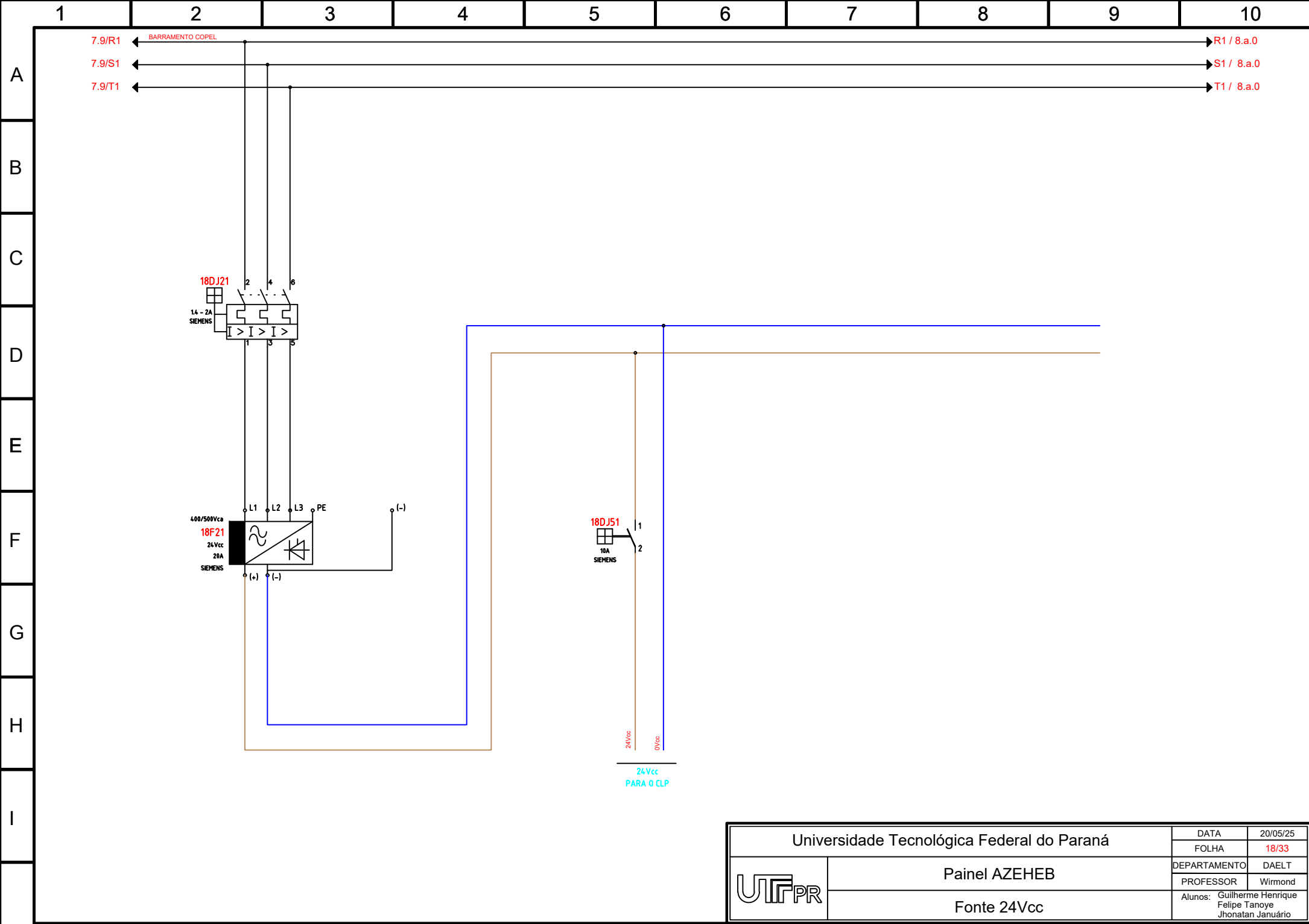




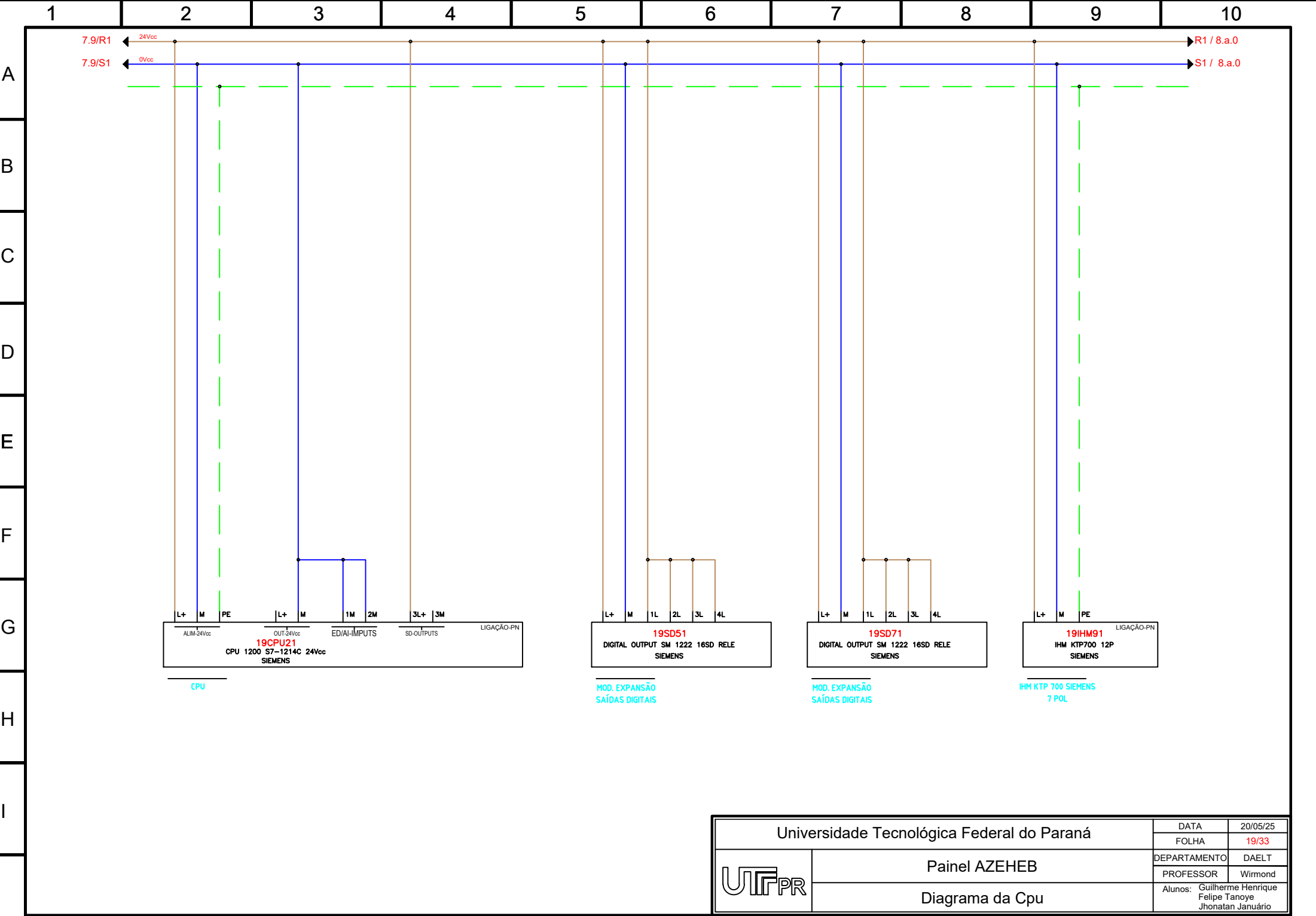
Universidade Tecnológica Federal do Paraná		DATA	20/05/25
		FOLHA	15/33
	Painel AZEHEB	DEPARTAMENTO	DAELT
	TAP - Sincronismo	PROFESSOR	Wimond
		Alunos:	Guilherme Henrique Felipe Tanoye Jhonatan Januário

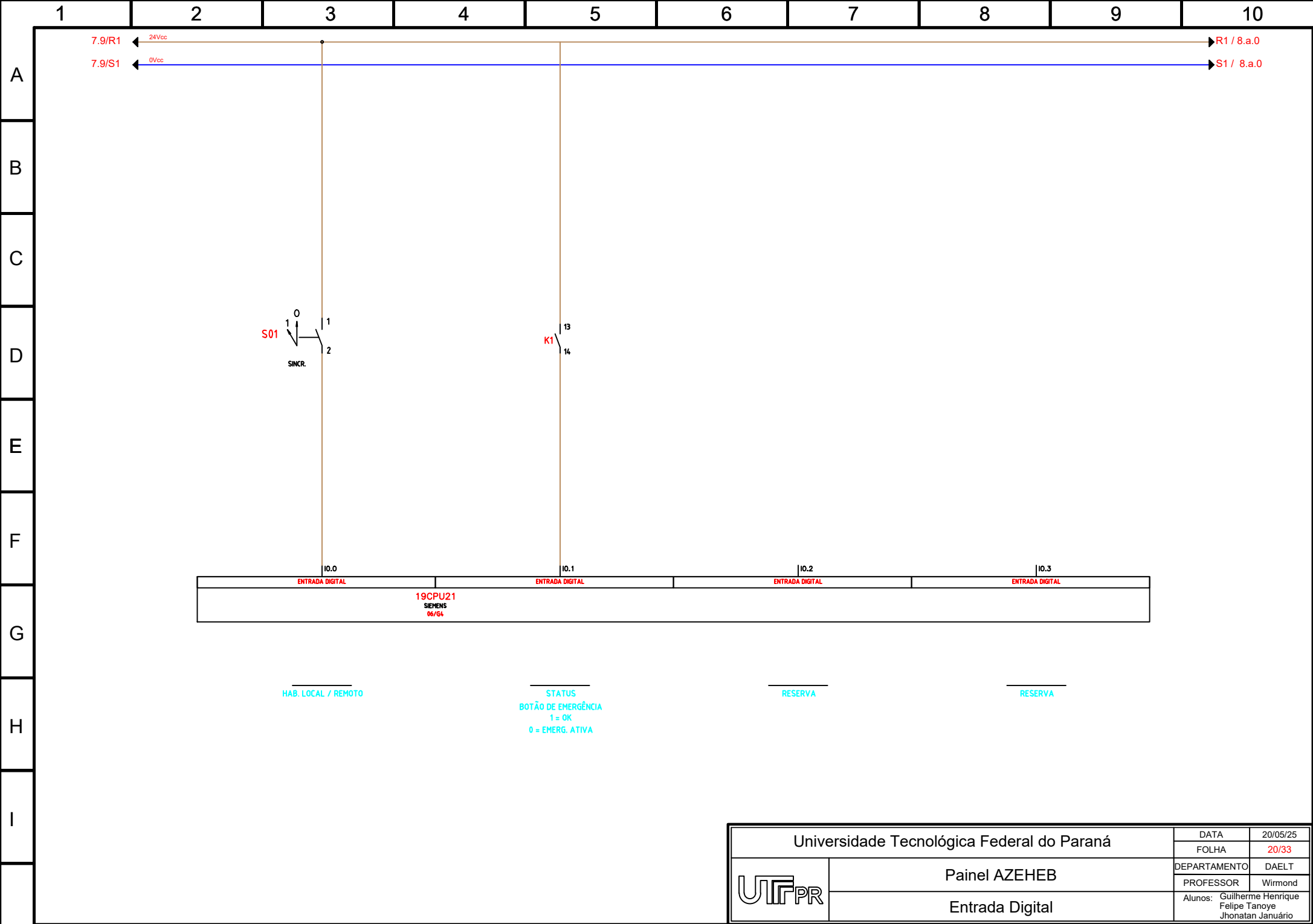
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																					
A																														
B																														
C																														
D																														
E																														
F																														
G																														
H																														
I																														
							<table><tr><td colspan="2">Universidade Tecnológica Federal do Paraná</td><td>DATA</td><td>20/05/25</td></tr><tr><td colspan="2"></td><td>FOLHA</td><td>16/33</td></tr><tr><td rowspan="3"></td><td colspan="2">Painel AZEHEB</td><td>DEPARTAMENTO</td><td>DAELT</td></tr><tr><td colspan="2">Reserva</td><td>PROFESSOR</td><td>Wirmond</td></tr><tr><td colspan="2"></td><td colspan="2">Alunos: Guilherme Henrique Felipe Tanoye Jhonatan Januário</td></tr></table>			Universidade Tecnológica Federal do Paraná		DATA	20/05/25			FOLHA	16/33		Painel AZEHEB		DEPARTAMENTO	DAELT	Reserva		PROFESSOR	Wirmond			Alunos: Guilherme Henrique Felipe Tanoye Jhonatan Januário	
Universidade Tecnológica Federal do Paraná		DATA	20/05/25																											
		FOLHA	16/33																											
	Painel AZEHEB		DEPARTAMENTO	DAELT																										
	Reserva		PROFESSOR	Wirmond																										
			Alunos: Guilherme Henrique Felipe Tanoye Jhonatan Januário																											

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																					
A																														
B																														
C																														
D																														
E																														
F																														
G																														
H																														
I																														
						<table><tr><td colspan="2">Universidade Tecnológica Federal do Paraná</td><td>DATA</td><td>20/05/25</td></tr><tr><td colspan="2"></td><td>FOLHA</td><td>17/33</td></tr><tr><td rowspan="3"></td><td colspan="2">Painel AZEHEB</td><td>DEPARTAMENTO</td><td>DAELT</td></tr><tr><td colspan="2">Reserva</td><td>PROFESSOR</td><td>Wirmond</td></tr><tr><td colspan="2"></td><td colspan="2">Alunos: Guilherme Henrique Felipe Tanoye Jhonatan Januário</td></tr></table>				Universidade Tecnológica Federal do Paraná		DATA	20/05/25			FOLHA	17/33		Painel AZEHEB		DEPARTAMENTO	DAELT	Reserva		PROFESSOR	Wirmond			Alunos: Guilherme Henrique Felipe Tanoye Jhonatan Januário	
Universidade Tecnológica Federal do Paraná		DATA	20/05/25																											
		FOLHA	17/33																											
	Painel AZEHEB		DEPARTAMENTO	DAELT																										
	Reserva		PROFESSOR	Wirmond																										
			Alunos: Guilherme Henrique Felipe Tanoye Jhonatan Januário																											

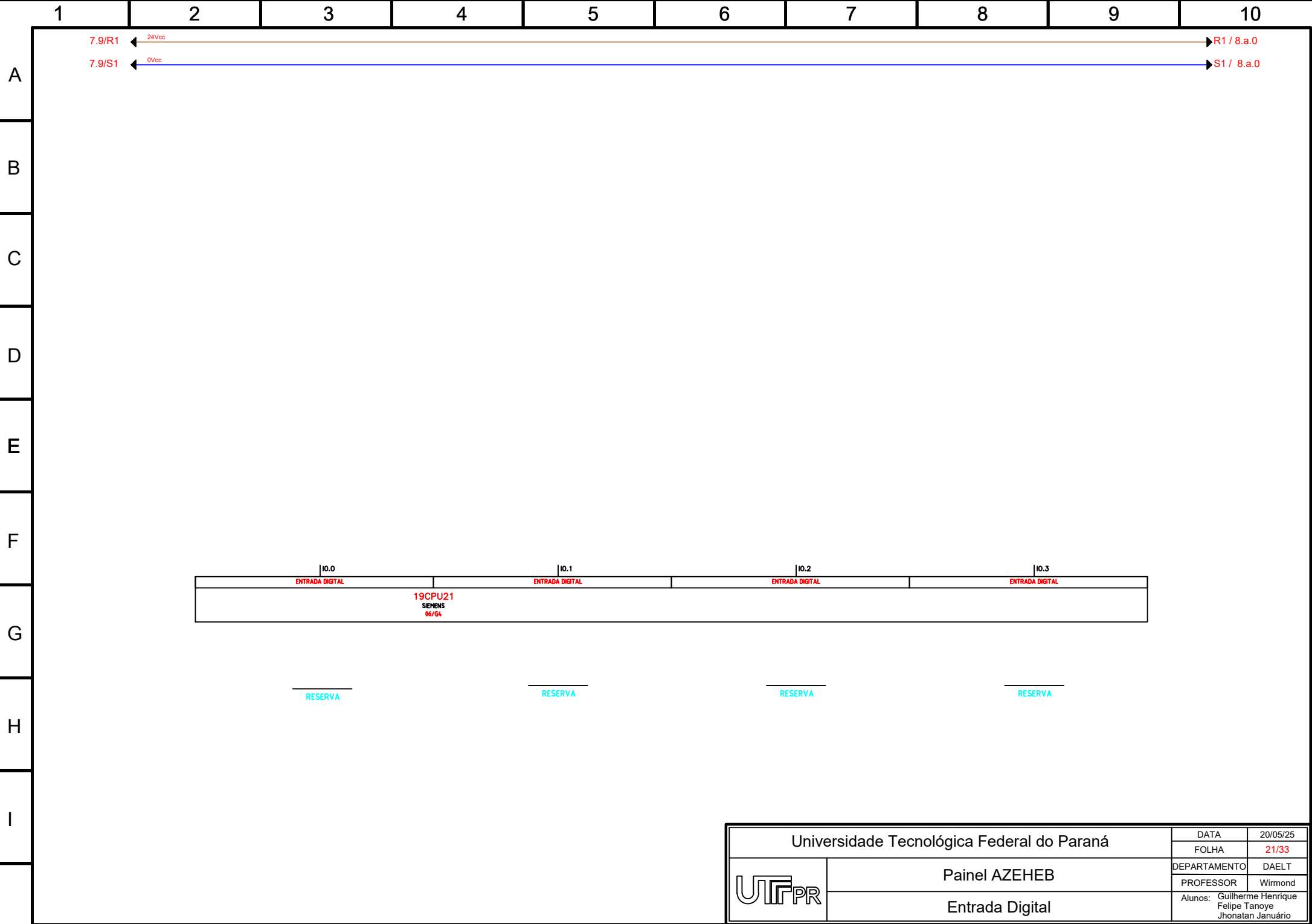


Universidade Tecnológica Federal do Paraná		DATA	20/05/25
		FOLHA	18/33
UTFPR	Painel AZEHEB	DEPARTAMENTO	DAELT
	Fonte 24Vcc	PROFESSOR	Wimond
		Alunos:	Guilherme Henrique Felipe Tanoye Jhonatan Januário





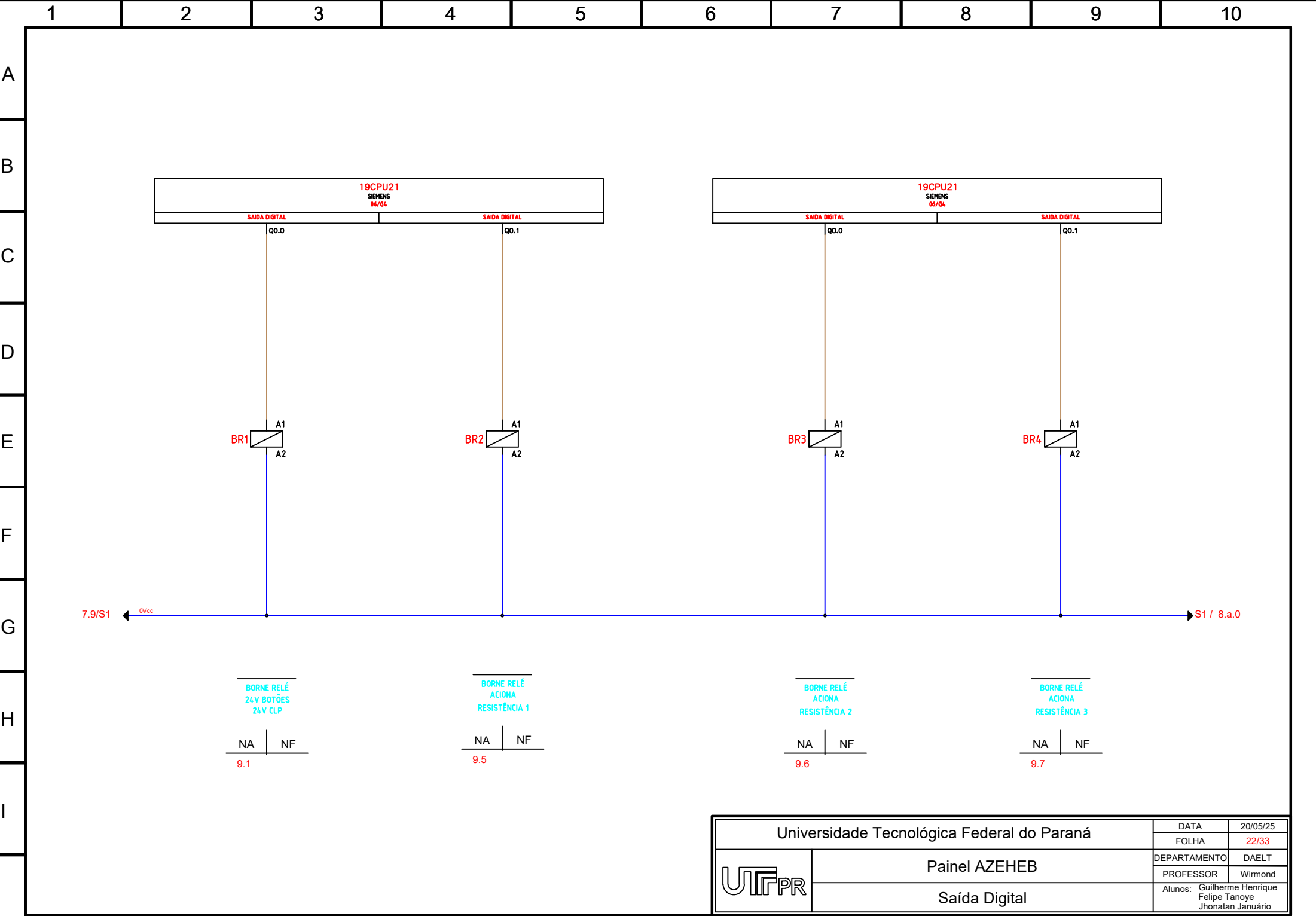


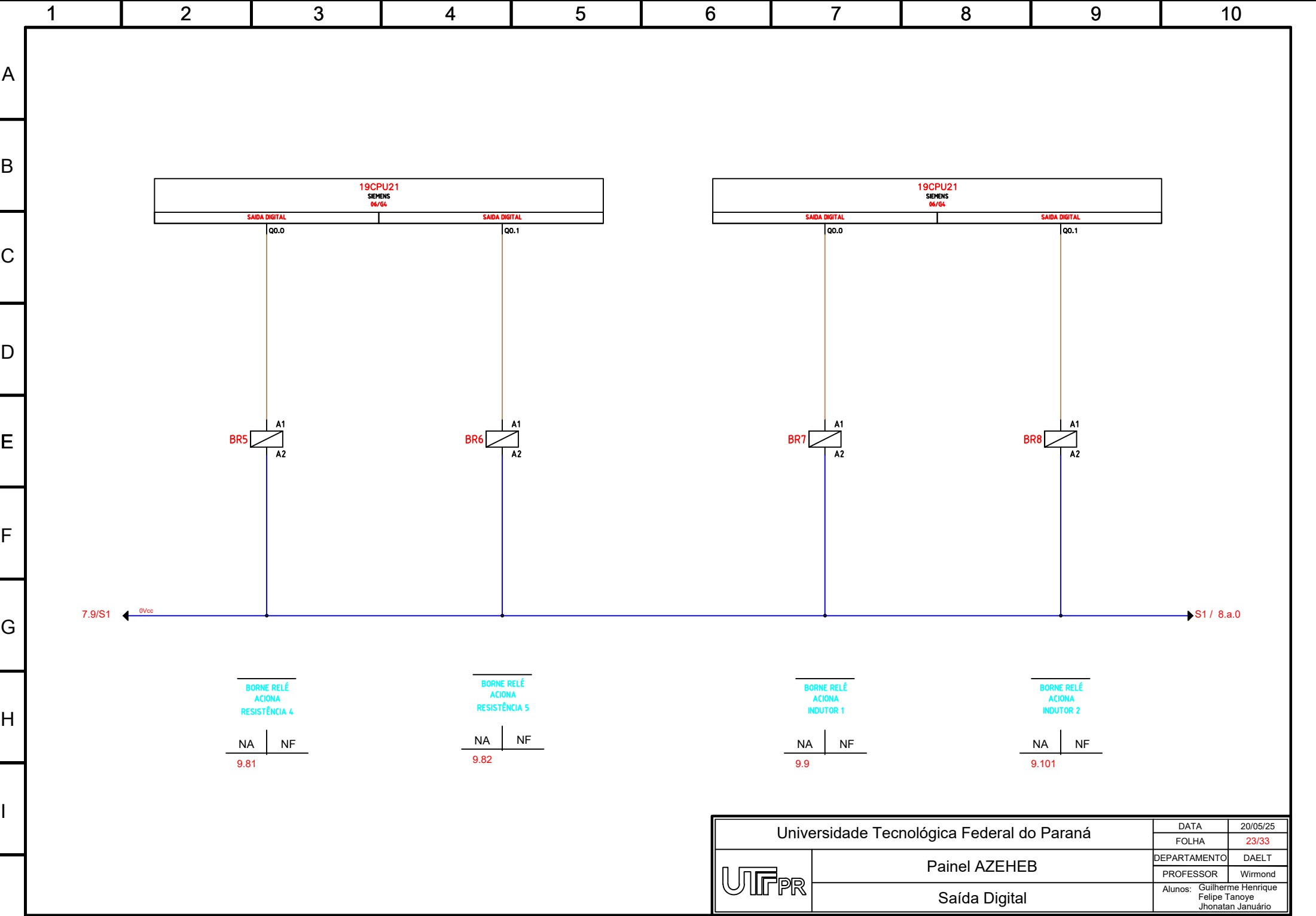


Painel AZEHEB

Entrada Digital

DATA	20/05/25
FOLHA	21/33
DEPARTAMENTO	DAELT
PROFESSOR	Wimmond
Alunos:	Guilherme Henrique Felipe Tanoye Jhonatan Januário





12345678910

A

B

C

D

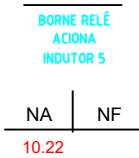
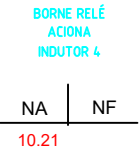
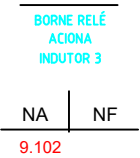
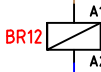
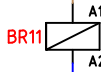
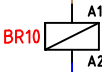
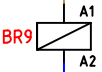
E


F

G

H

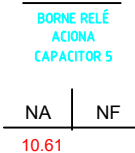
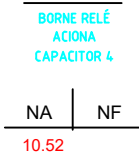
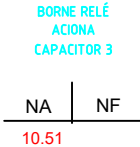
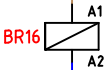
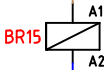
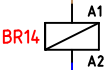
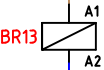
I

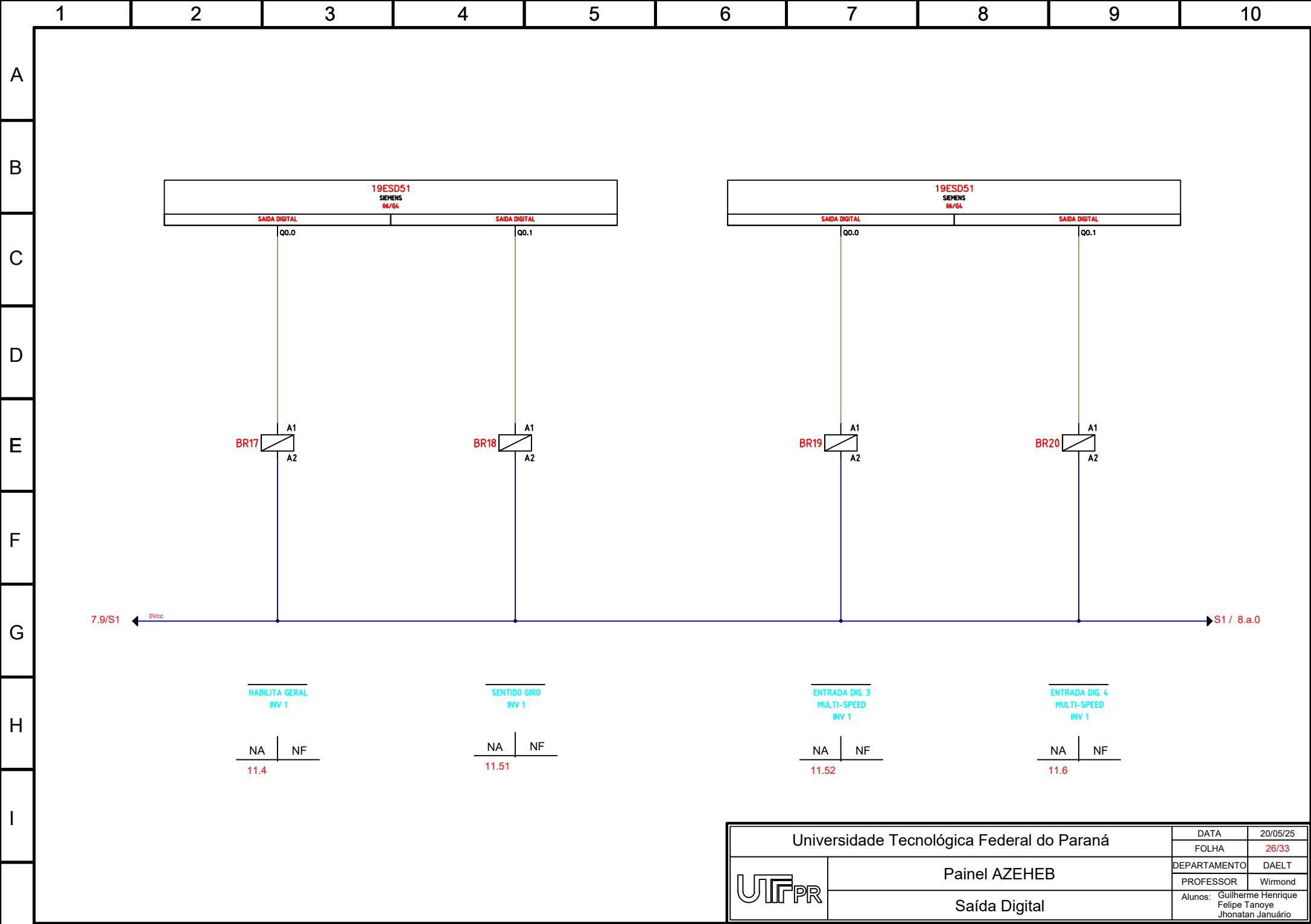


Universidade Tecnológica Federal do Paraná		DATA	20/05/25
		FOLHA	24/33
	Painel AZEHEB	DEPARTAMENTO	DAELT
	Saída Digital	PROFESSOR	Wimond
		Alunos:	Guilherme Henrique Felipe Tanoye Jhonatan Januário

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A  
B  
C  
D  
E  
F  
G  
H  
I





Universidade Tecnológica Federal do Paraná

UTFP

Painel AZEHEB

Saída Digital

DATA

20/05/25

FOLHA

26/33

DEPARTAMENTO

DAELT

PROFESSOR

Wimond

Alunos:

Guilherme Henrique  
Felipe Tanoye  
Jhonatan Januário

12345678910

A

B

C

D

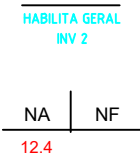
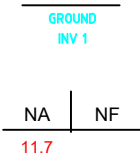
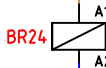
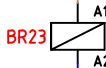
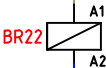
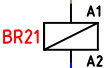
E


F

G

H

I



Universidade Tecnológica Federal do Paraná		DATA	20/05/25
		FOLHA	27/33
	Painel AZEHEB	DEPARTAMENTO	DAELT
	Saída Digital	PROFESSOR	Wimond
		Alunos:	Guilherme Henrique Felipe Tanoye Jhonatan Januário

12345678910

A  
B  
C  
D  
E  
F  
G  
H  
I



Q0.0

Q0.1

BR25

A1

A2

BR26

A1

A2



Q0.0

Q0.1

BR27

A1

A2

BR28

A1

A2

7.9/S1 0Vcc S1 / 8.a.0

ENTRADA DIG. 3  
MULTI-SPEED  
INV 2

NA	NF
12.52	

ENTRADA DIG. 4  
MULTI-SPEED  
INV 2

NA	NF
12.6	

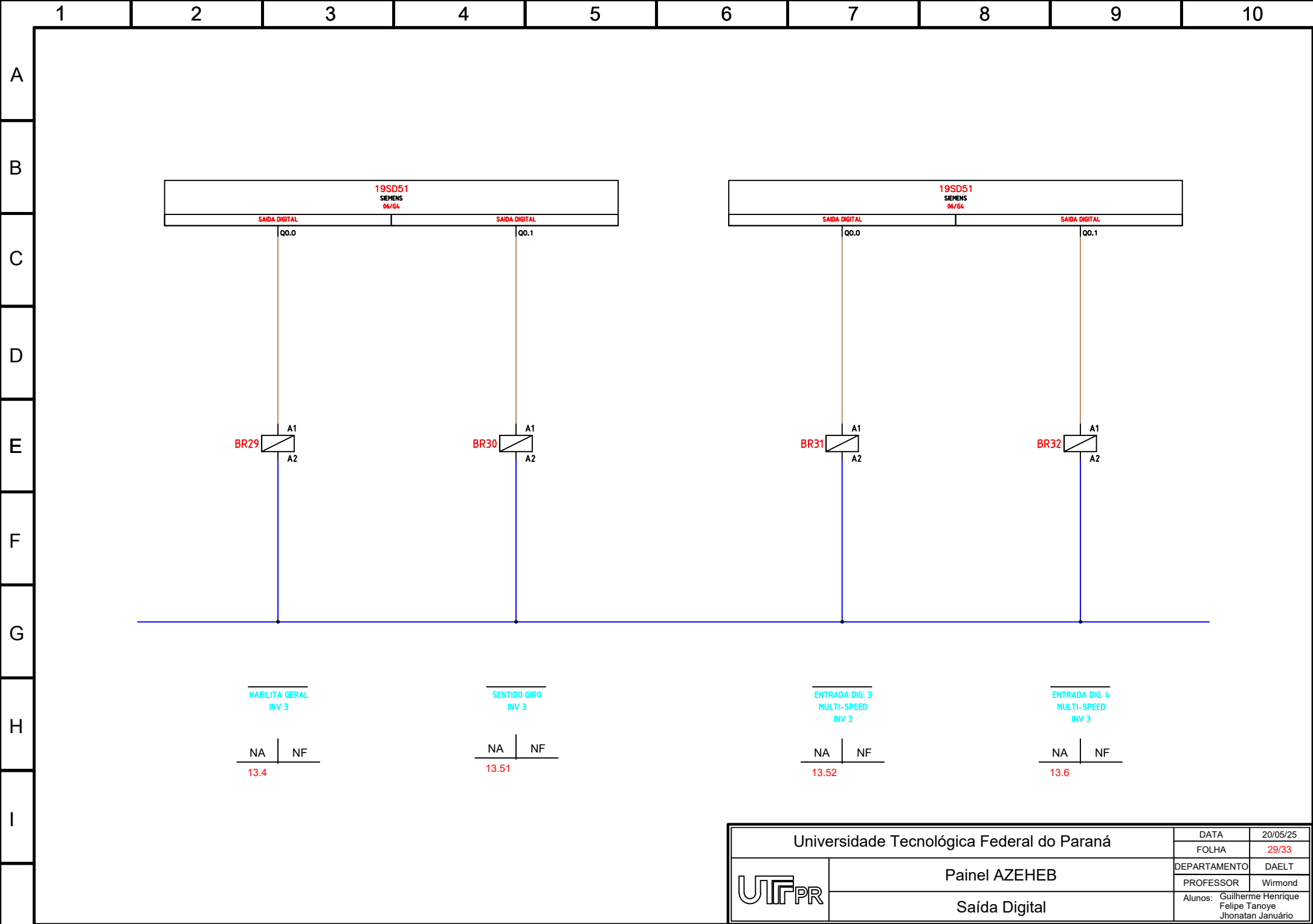
GROUND  
INV 2

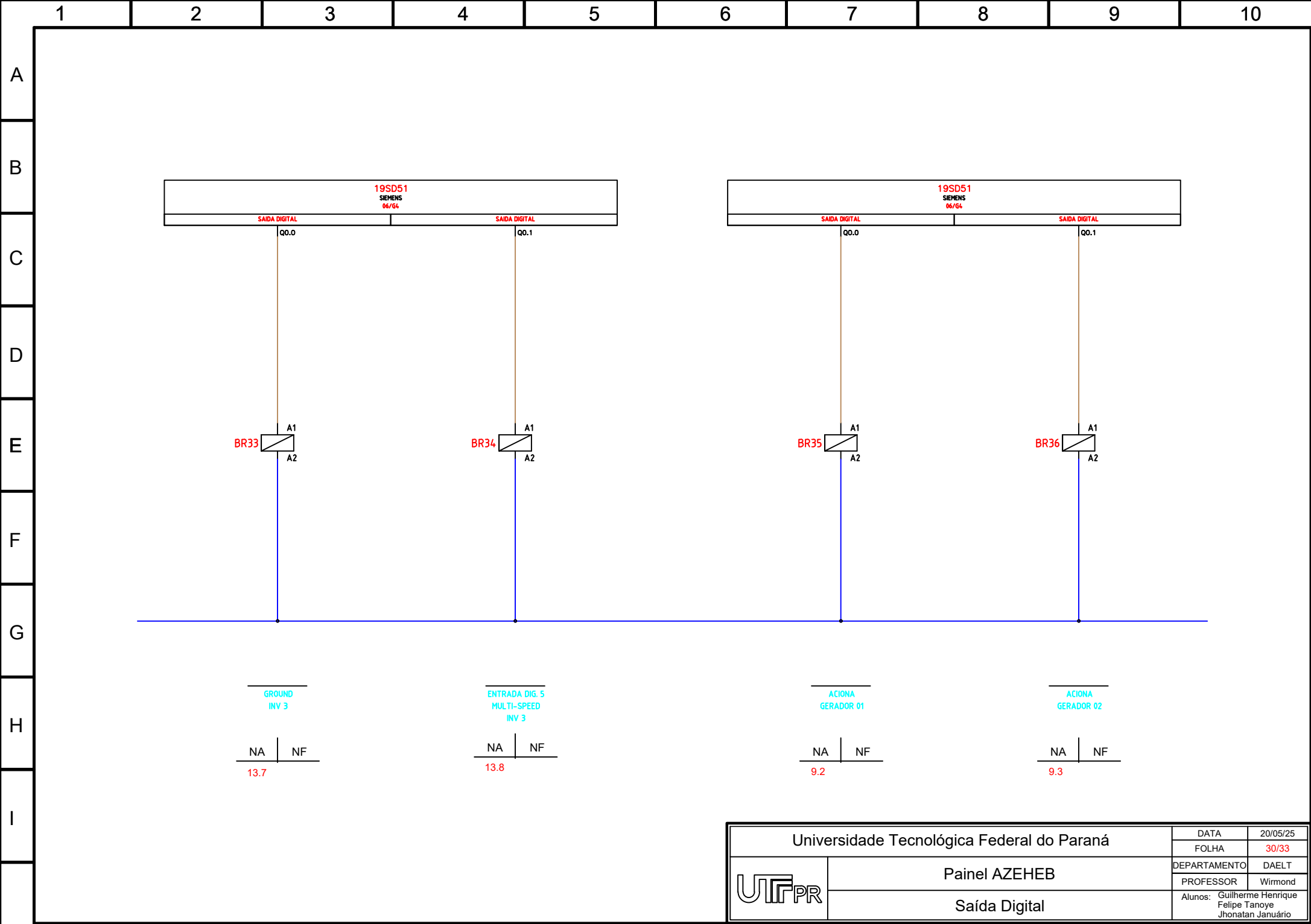
NA	NF
12.7	

ENTRADA DIG. 5  
MULTI-SPEED  
INV 2

NA	NF
12.8	







19SD51  
SIEMENS  
06/G4

SAIDA DIGITAL

SAIDA DIGITAL

Q0.0

Q0.1

BR35

A1

A2

ACIONA  
GERADOR 01

NA

NF

9.2

19SD51  
SIEMENS  
06/G4

SAIDA DIGITAL

SAIDA DIGITAL

Q0.0

Q0.1

BR36

A1

A2

ACIONA  
GERADOR 02

NA

NF

9.3

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

DATA

20/05/25

FOLHA

30/33

DEPARTAMENTO

DAELT

PROFESSOR

Wimond

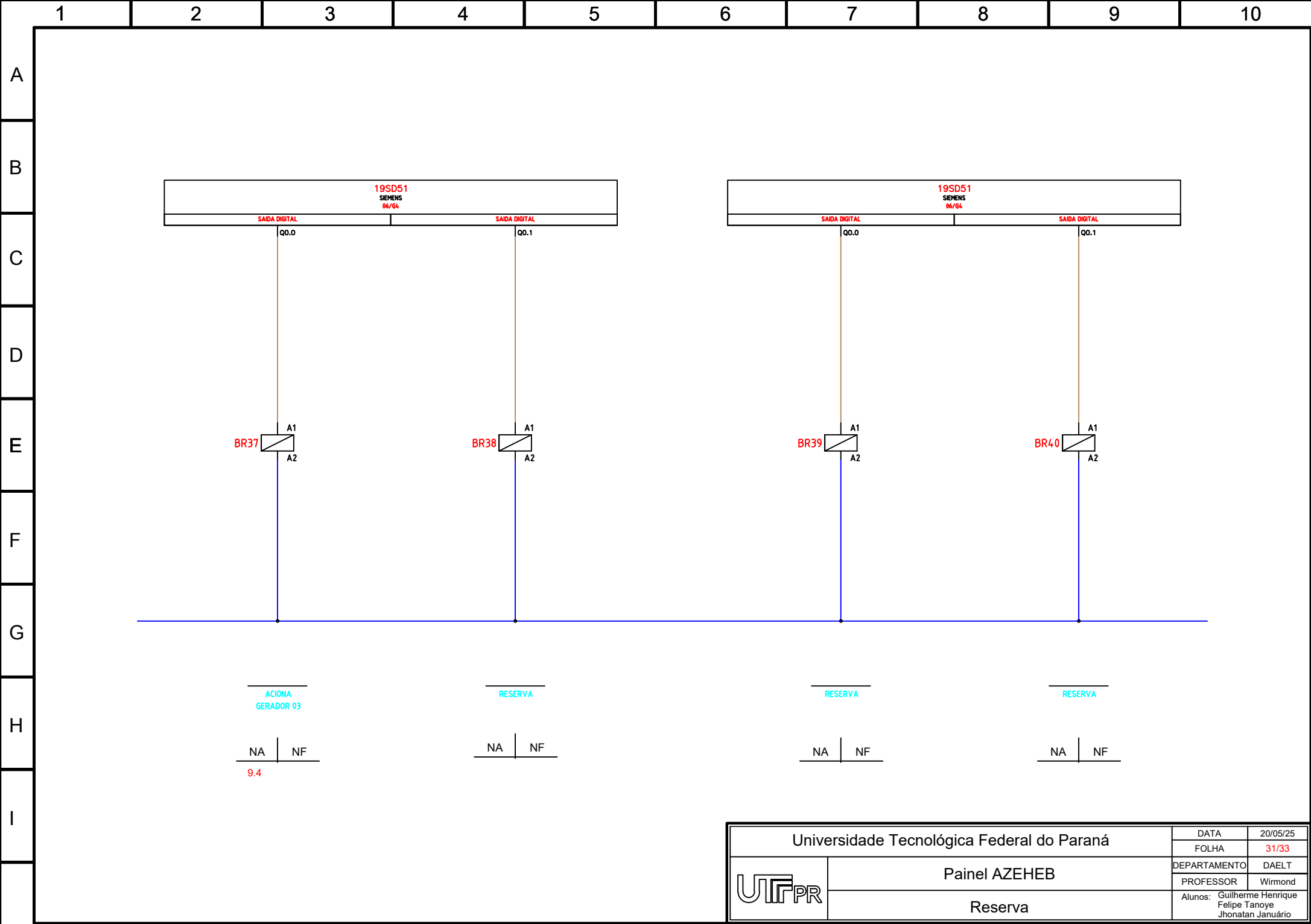
Alunos:


Guilherme Henrique  
Felipe Tanoye  
Jhonatan Januário

UTFPR

Painel AZEHEB

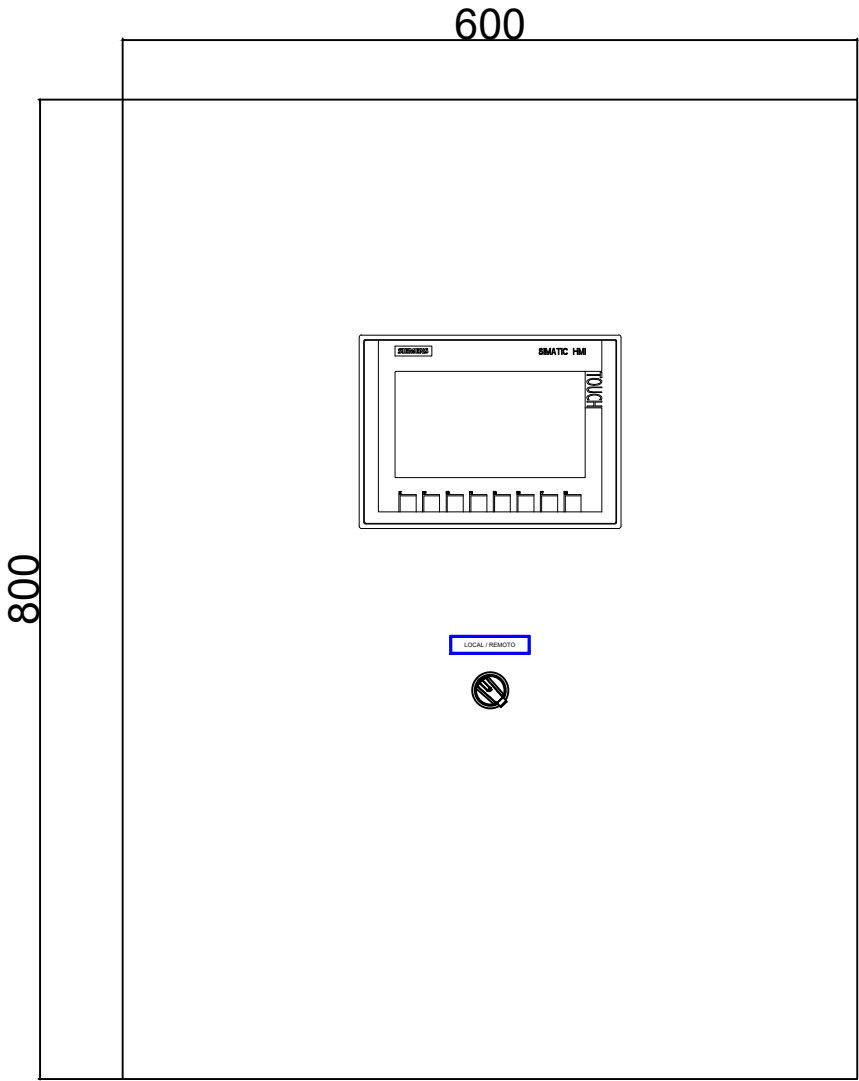
Saída Digital



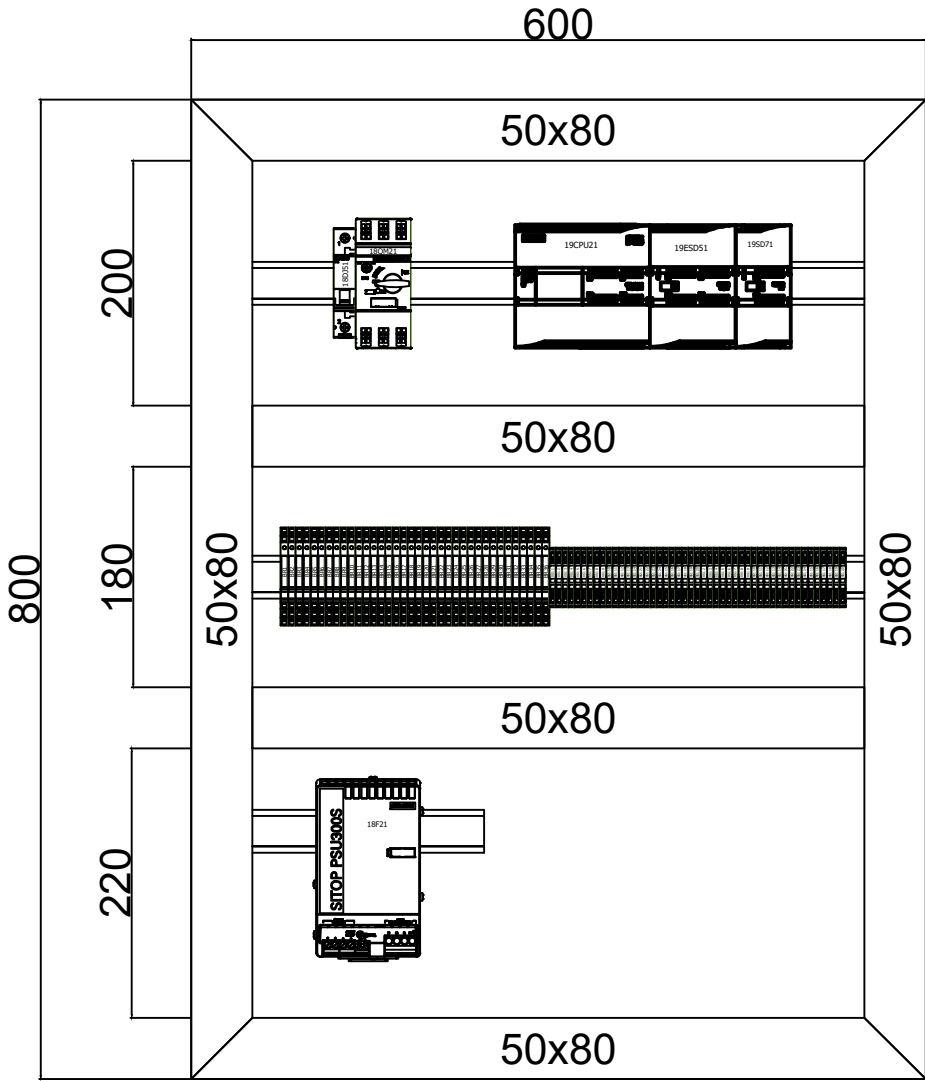
Universidade Tecnológica Federal do Paraná		DATA	20/05/25
		FOLHA	32/33
	Painel AZEHEB	DEPARTAMENTO	DAELT
	Régua de borne	PROFESSOR	Wirmond
		Alunos: Guilherme Henrique Felipe Tanoye Jhonatan Januário	

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A  
B  
C  
D  
E  
F  
G  
H  
I



Vista Frontal



Vista Interna