



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ

LUCAS FERREIRA DE FARIA

DESENVOLVIMENTO DE UM PAINEL ELÉTRICO DIDÁTICO
MULTIFUNCIONAL COM INTERFACE HOMEM-MÁQUINA PARA
CONTROLE DE CARGAS

ARAXÁ/MG

2019

LUCAS FERREIRA DE FARIA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PAINEL ELÉTRICO DIDÁTICO
MULTIFUNCIONAL COM INTERFACE HOMEM-MÁQUINA PARA
CONTROLE DE CARGAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Unidade Araxá, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Financiadora: CEFET-MG – Processo de Mobilidade Acadêmica Internacional. Edital nº 06/2018.

Orientador: Prof. Dr. Mateus Antunes Oliveira
Leite

Coorientador: Prof. Dr. Domingos Sávio de Resende

ARAXÁ/MG

2019



Serviço Público Federal
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL / ARAXÁ

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC – ATA DE DEFESA

ATA DA DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL do aluno **Lucas Ferreira de Faria**

Às 9h30 do dia 06 de dezembro de 2019, reuniu-se, no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG/ Unidade Araxá, a Comissão Examinadora de Trabalho de Conclusão de Curso para julgar, em exame final, o trabalho intitulado "**Desenvolvimento de um painel elétrico didático multifuncional com interface homem-máquina para controle de cargas**" como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Engenheiro de Automação Industrial. Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, *Prof. Dr. Mateus Antunes Oliveira Leite*, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra ao candidato para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento e expedição do resultado final.

Após a reunião da Banca Avaliadora, o candidato foi considerado: APROVADO
com nota final de: 91 / 100 (NOVENTA E UM) pontos).

O resultado final foi comunicado publicamente ao candidato pelo Presidente da Comissão. O aluno abaixo-assinado declara que o trabalho ora identificado é da sua autoria material e intelectual, excetuando-se eventuais elementos, tais como passagens de texto, citações, figuras e datas, desde que as mesmas identifiquem claramente a fonte original, explicitando as autorizações obtidas dos respectivos autores, quando necessárias. Declara ainda, neste âmbito, não estar a violar direitos de terceiros.

Lucas Ferreira de Faria Lucas Ferreira de Faria Araxá, 06 de dezembro de 2019.
Nome do aluno Assinatura Local e data

Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou os trabalhos e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora.

Araxá, 06 de dezembro de 2019.

Mateus Antunes Oliveira Leite
Prof. Dr. Mateus Antunes Oliveira Leite
Orientador

Henrique José Avelar
Prof. Dr. Henrique José Avelar
Avaliador

Leandro Resende Mattioli
Prof. Me. Leandro Resende Mattioli
Avaliador

Maria Cristina Ramos de Carvalho
Prof.ª Dra. Maria Cristina Ramos de Carvalho
Avaliador

Domingos Sávio de Resende
Prof. Dr. Domingos Sávio de Resende
Avaliador Suplente

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Clébio e Marilene, que sempre trabalharam bastante para que eu pudesse realizar todos os meus sonhos e à minha querida irmã Maria Eduarda que também sempre me apoiou.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à minha amada família que sempre esteve me apoiando nos momentos difíceis, tendo compreensão e paciência para me incentivar durante toda a execução do meu intercâmbio e do meu trabalho de conclusão de curso. Gostaria de agradecer à minha madrinha, Aline dos Anjos Silva, por ter confiado e investido em mim quando eu tinha 15 anos e por auxiliar minha família com os custos do meu curso de inglês. Sem você, nada disso teria acontecido.

Gostaria de agradecer ao CEFET-MG por ter ofertado a oportunidade de intercâmbio, fornecendo apoio técnico e financeiro durante a viagem. Agradeço também a todos os professores do curso de Engenharia de Automação Industrial por terem compartilhado seus conhecimentos comigo durante esses anos no CEFET-MG. Aos meus orientadores, Mateus Antunes e Domingos Sávio de Resende, e à professora Bruna Gabriela Augusto Marçal Vieira, por terem me mostrado o caminho da pesquisa e terem dedicado seu tempo e esforços para me auxiliar durante a execução do projeto. Agradeço ao apoio do Sávio por ter me impulsionado a trancar o curso por um semestre e consequentemente executar esse projeto. Não posso me esquecer do professor Glaydson Keller de Almeida Ferreira, que também me orientou em outro tema de pesquisa, por ter compreendido minha situação e me apoiado neste novo projeto.

Gostaria de agradecer, por fim, mas não menos importante, à *Université Grenoble Alpes*, por ter me aceitado como aluno intercambista, pela confiança, apoio técnico e financeiro para a execução desse projeto em seus departamentos de Engenharia Elétrica. Serei eternamente grato ao senhor Pierre Canat, ao senhor Daniel Hillaire e ao senhor Jean Luc Amalberti, por terem compartilhado seus conhecimentos e sua cultura comigo durante o ano de 2019. Muito obrigado pela paciência, receptividade e cordialidade que tiveram comigo. Gostaria de agradecer também ao Célestin Choisy, que foi meu companheiro de laboratório e me ajudou durante minhas dificuldades com a língua francesa e com as novas tecnologias que até então eu desconhecia.

Obrigado, também, a todos os amigos que me ajudaram de alguma maneira nesta etapa da minha vida.

RESUMO

Dada a importância da utilização de fontes de energia renováveis para um desenvolvimento sustentável e devido à necessidade do aumento dessa energia no Brasil, na França e no mundo, projetos que envolvam e apliquem alguma tecnologia para este fim são cada vez mais necessários. O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um painel elétrico didático multifuncional com uma interface homem-máquina para controle de cargas de forma local e remota. Esse painel tem aplicações variadas, podendo ser aplicado em energia eólica, fotovoltaica ou apenas para controle de cargas didáticas em laboratório, conquanto, nesse trabalho, em um meio sustentável, foi optado pelo uso da energia solar. O projeto, inicialmente, foi desenvolvido e instalado na *Université Grenoble Alpes*, na França, por meio de uma parceria de intercâmbios do CEFET-MG, podendo esse ser replicado facilmente em outras universidades do Brasil e do mundo. Como tecnologia aplicada no trabalho, destaca-se o uso do controlador e intermediador de dados *Smartlink Ethernet* da *Schneider Electric*, o qual apresenta uma fácil instalação, interface amigável e facilidade para configurações e programações. O dispositivo também se destaca no mercado por sua grande flexibilidade e alta gama de produtos compatíveis. Dentro das funções didáticas propostas, enfatiza-se, por meio da utilização do painel elétrico, seu emprego para estudos do protocolo de comunicação *Modbus* via *Ethernet* e serial RS-485; programações de interfaces homem-máquina para controle e monitoramento de processos por meio do *software Vijeo Designer*; estudos de acionamentos elétricos e circuitos de corrente alternada, envolvendo a parte de montagem do painel e utilização de disjuntores e contadores. O painel também visa possibilitar o estudo de controle de cargas por meio da configuração e programação do controlador *Smartlink Ethernet*, que pode ser acessado remotamente em tempo real por um computador ou celular; além do estudo indireto da produção, eficiência e utilização de energia fotovoltaica de forma *on-grid*. Observa-se que o presente trabalho é multidisciplinar, contribuindo para a formação acadêmica dos alunos, fornecendo-os diversas competências para trabalhar com novas tecnologias, além disso, o projeto impulsiona a utilização eficaz e consciente de energias renováveis e contribui para a disseminação de tecnologias aplicáveis nesse meio.

Palavras-chave: Redes industriais. Energia Fotovoltaica. *Smartlink Ethernet*. Interface homem-máquina. Controle de cargas. Monitoramento.

ABSTRACT

Given the importance of the utilization of renewable energy sources for a sustainable development and due to the need of growing of this kind of energy in Brazil, in France and in all over the world, projects that involve and apply any technology for this purpose are needed. This project has as objective the development of a smart didactic electrical panel multifunctions with a human-machine interface for local and remote charge control. This panel has many applications, it can be used with wind power, photovoltaics or just for didactic charge controlling in a laboratory, although, in this project, in a sustainable context, it was chosen to use photovoltaic power. The work, initially, was developed and installed in the *Université Grenoble Alpes*, in France, by means of an international partnership of the Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, however, it can be easily reproduced in others universities in Brazil and all over the world. As the technology applied in this project, stands out the use of the controller and data intermediary Smartlink Ethernet of Schneider Electric, who presents a simple installation, friendly user interface and a straightforward settings and programming, the device also highlights in the market for its huge flexibility and a wide range of compatible products. Regarding the proposed didactic functions by the use of the panel, we can exemplify its use for *Modbus* communication protocol studies via Ethernet and RS-485 serial ; human-machine interface programming for controlling and process monitoring through the use of the Vijeo Designer software; and studies of the electrical machines drives and alternate current circuits, involving the assembling part and use of circuit breakers and contactors. The electrical board also enables the study of loads controlling by means of the programming and settings of the Smartlink Ethernet, that can be remotely accessed in real time by a computer or cellphone; besides of the indirect studies of the production, efficiency and use of the off-grid photovoltaic energy. It is observed that the present work is multidisciplinary and contributes for the students academics formations, even further, it impulsionates the effective and conscious utilization of renewable energies and it contributes for the propagation of technologies applicable in this interim.

Key-words : Industrial Networks. Photovoltaic energy. Smartlink Ethernet. Human-machine interface. Loads control. Monitoring.

RÉSUMÉ

Compte tenu de l'importance de l'utilisation des sources d'énergies renouvelables pour le développement durable et en raison de la nécessité d'augmenter cette énergie, au Brésil, en France et dans le monde, les projets qui engagent et appliquent des technologies à cette finalité sont de plus en plus nécessaires. Le présent travail a comme objectif le développement d'une armoire intelligente didactique multifonctionnelle avec une interface homme-machine pour le pilotage de charges, locale et à distance. Cette armoire a des nombreuses applications, elle peut être appliquée avec l'énergie photovoltaïque ou seulement pour le contrôle de charges didactiques dans un laboratoire. Comme ce projet correspond au développement durable, il a été décidé d'utiliser l'énergie solaire. Celui-là, s'est d'abord développé et installé à l'Université Grenoble Alpes, en France, à travers un partenariat d'échange du CEFET-MG. Il peut alors être facilement reproduit dans les universités du Brésil et du monde. En tant que technologie appliquée au travail, nous soulignons l'utilisation du contrôleur et du collecteur de données *Smartlink Ethernet*, qui présente une installation simple, une interface accessible et une facilité pour les configurations et les programmations. Le dispositif se distingue aussi sur le marché par sa grande flexibilité et sa large gamme de produits compatibles. Dans les fonctions didactiques proposées, nous mettons en avant l'utilisation de cette armoire pour les études du protocole de communication Modbus sur *Ethernet* et sur serial RS-485 ; les programmations d'interfaces tactiles pour le contrôle et la surveillance de process grâce au *software* Vijeo Designer ; les études des dispositifs de commande des moteurs et des circuits de courant alternatif qui engagent la partie de l'assemblage de la platine et l'utilisation des disjoncteur et des contacteurs. L'armoire permet également à l'étude du pilotage de charge avec le contrôleur *Smartlink*, qui peut être consulté à distance et en temps réel par un ordinateur ou un portable ainsi que l'étude indirecte de la production et de l'utilisation de l'énergie photovoltaïque de manière *on-grid*. Nous observons que le présent travail est multidisciplinaire. Il contribue à la formation académique des étudiants, en leur fournissant de nombreuses compétences pour travailler avec les nouvelles technologies. Par ailleurs, le projet encourage l'utilisation efficace et consciente des énergies renouvelables et contribue à la diffusion des technologies qui lui sont applicables.

Mots-clés : Réseaux industriels. Énergie photovoltaïque. *Smartlink Ethernet*. Interface homme-machine. Pilotage de charge. Surveillance

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Crescimento da geração de energia por fontes renováveis no mundo.	14
Figura 2 - Conexão de células em paralelo.....	19
Figura 3 - Conexão de células em série.	19
Figura 4 - Sistema fotovoltaico <i>on-grid</i>	20
Figura 5 - Sistema fotovoltaico <i>off-grid</i>	21
Figura 6 – Ilustração de um conversor eletrônico de potência CC/CA.	21
Figura 7 - Painel elétrico e seus componentes.	23
Figura 8 – Bancada didática para sistema fotovoltaico <i>off-grid</i>	24
Figura 9 – Bancada didática experimental para uso de energia eólica e fotovoltaica.	25
Figura 10 - <i>Schneider Smartlink Ethernet</i>	26
Figura 11 – Interação mestre (cliente) e o escravo (servidor) <i>Modbus</i>	29
Figura 12 - <i>Modbus RTU RS-232</i>	30
Figura 13 - <i>Modbus RTU RS-485</i>	31
Figura 14 – Cabo <i>Ethernet</i> com conector RJ-45.	31
Figura 15 – Controle do videogame Super Nintendo.	32
Figura 16 – Interface gráfica do usuário.	33
Figura 17 – Óculos de realidade virtual <i>Oculus Rift</i>	34
Figura 18 – Interface homem-máquina para controle e monitoramento de um forno.	35
Figura 19 – Interface homem-máquina <i>Magelis</i>	36
Figura 20 – Componentes utilizados na execução do projeto.	38
Figura 21 - Diagrama elétrico de potência.	39
Figura 22 – Painéis fotovoltaicos da <i>Université Grenoble Alpes</i>	40
Figura 23 – Sistema fotovoltaico da UGA usado no painel elétrico multifuncional.	41
Figura 24 - Sensor <i>PowerTag A9EM1522</i> Fase + Neutro	41
Figura 25 – Sensores instalados no painel.	42
Figura 26 - Ligação elétrica do medidor de energia.	43
Figura 27 - Contador de energia PM3250 <i>Schneider Electric</i>	44
Figura 28 - Diagrama elétrico de comando.	45
Figura 29 - Funcionamento do comando do <i>Reflex iC60</i>	46
Figura 30 - Diagrama elétrico de comunicação.	47

Figura 31 - Comunicação serial via <i>Modbus</i> RS-485.	49
Figura 32 - Ligação do cabo para comunicação RS-485.	49
Figura 33 - Tipos de canaletas de plástico.	50
Figura 34 – Instalação de canaletas e trilhos.	51
Figura 35 – Bornes de conexão rápida.	52
Figura 36 - Tipos de linhas elétricas.	54
Figura 37 - Capacidade de condução de corrente, em ampères.....	54
Figura 38 – Cabeamento do painel multifuncional.	55
Figura 39 – Terminais elétricos do tipo tubular longo.	56
Figura 40 – Configuração para dispositivos digitais.	57
Figura 41 – Configuração para dispositivos <i>Modbus</i>	58
Figura 42 – Configuração de alarmes específicos.	59
Figura 43 – Controle remoto e monitoramento via <i>Smartlink Ethernet</i>	60
Figura 44 – Dimensões da interface <i>Magelis</i> GTO1310.	61
Figura 45 – Projeto do suporte para a interface homem-máquina.	62
Figura 46 – Projeto 3D do suporte para a IHM.	63
Figura 47 – Suporte para IHM.	63
Figura 48 – Criação de telas para o painel.	66
Figura 49 – Tela inicial da IHM do painel.	67
Figura 50 – Expressão matemática para cálculo da energia.	68
Figura 51 – Tabela de dados para recuperação de contadores de disjuntores e contadores controláveis.	69
Figura 52 – Interface para controle da carga 3.	70
Figura 53 – Interface para controle da carga 1.	71
Figura 54 – Anilhas de identificação numeradas.....	72
Figura 55 – Painel elétrico com anilhas de identificação.	73
Figura 56 – Rotulador eletrônico para criação de etiquetas.	74
Figura 57 – Página principal de monitoramento e controle.....	75
Figura 58 – Janela de dados para o consumo de energia e IHM com carga de 570 W.	76
Figura 59 – Resistências elétricas didáticas e configuráveis.	77
Figura 60 – Menus de seleção do painel.	77
Figura 61 – Outros dados fornecidos pelo medidor de energia.	78
Figura 62 – Painel elétrico com carga de 500 W.	79

Figura 63 – Painel elétrico com carga de 990 W.	79
Figura 64 – Porcentagem de gasto energético.	80
Figura 65 – Painel elétrico em processo de duplicação pela UGA.	81
Figura 66 – Painel elétrico didático multifuncional em seu estado final.....	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	<i>Alternate Current</i>
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CEFET – MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
CLI	<i>Command Line Interface</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica de Salvo Brito
D.D.P.	Diferença de Potencial
DC	<i>Direct Current</i>
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
DIRGRAD	Diretoria de Graduação
EDF	<i>Électricité de France</i>
GEII	<i>Génie Électrique et Informatique Industrielle</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
HD	<i>Hard Disk</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IHM	Interface Homem-Máquina
IP	<i>Internet Protocol</i>
IUT1	<i>Institut Universitaire de Technologie 1</i>
MAT	<i>Machine Automation Tools</i>
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
NUI	<i>Natural User Interface</i>
RTU	<i>Remote Terminal Unit</i>
RW	<i>Read and Write</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
PF	<i>Power Factor</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
UGA	<i>Université Grenoble Alpes</i>
WWW	<i>World Wide Web</i>

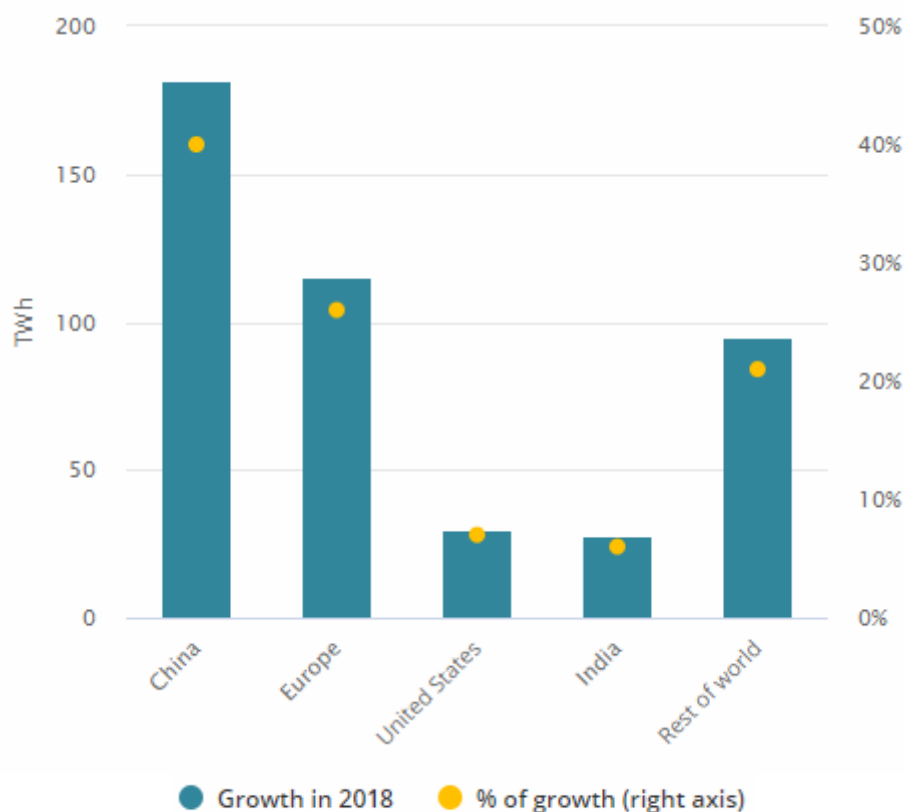
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Energia solar fotovoltaica	18
2.2	Painel elétrico	22
2.3	Sistemas de controle e monitoramento	26
2.4	Protocolo de comunicação <i>Modbus</i>	28
2.5	Interface homem-máquina	32
3	METODOLOGIA	37
3.1	Diagrama e circuito elétrico	37
3.2	Montagem de trilhos e de canaletas	50
3.3	Cabeamento e conectores	52
3.4	Configuração do <i>Smartlink Ethernet</i> para controle remoto e monitoramento	57
3.5	Projeto e instalação de suporte para a interface <i>Magelis</i>	60
3.6	Programação da interface homem-máquina	64
3.6.1	Recuperação de dados e monitoramento	64
3.6.2	Controle de cargas	68
3.7	Identificação de cabos elétricos e canaletas de plástico	71
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
	REFERÊNCIAS	85

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Relatório Anual da Agência Internacional de Energia (IEA), com o aumento constante da demanda energética em todo o mundo, a geração de energias de fontes renováveis, advindas de recursos que são naturalmente reabastecidos, como sol, vento e chuva, cresceu 7% em 2018, no mundo. O aumento da demanda global por essas fontes renováveis foi equivalente a todo consumo de energia elétrica no Brasil - aproximadamente 450 TWh. Esse fato mostra o quanto o uso desse tipo de energia aumentou mundialmente. Em especial, a China foi responsável por 40% de todo o crescimento desse tipo de geração de energia. A Figura 1 ilustra a quantidade total de geração de energia renovável no mundo por região entre 2017 e 2018 e suas respectivas porcentagens de crescimento no eixo direito, representado por pontos amarelos (IEA, 2018).

Figura 1 – Crescimento da geração de energia por fontes renováveis no mundo.



Fonte: IEA (2018).

A energia solar fotovoltaica foi a modalidade cuja demanda mais cresceu no mundo em termos proporcionais em 2018, segundo a IEA (2018). Esse tipo de energia teve alta de

31 % no ano de 2018, chegando a aproximadamente 104 GW de capacidade total instalada em todo o globo. O Brasil tem, ao todo, segundo o PDE (Plano Decenal de Expansão de Energia), 1188 MW de capacidade instalada para produção de energia fotovoltaica, o que representa 1,92 % da capacidade mundial. Entretanto, o governo brasileiro planeja elevar essa quantidade para 5 GW até o final de 2027, por meio de geração distribuída, em que placas solares geram energia para atender às demandas de casas ou de estabelecimentos comerciais ou industriais (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018).

Na França, por sua vez, em 2017, de toda a energia produzida, 10,7 % é proveniente de fontes renováveis, o que representa um crescimento de 4,1 % em relação ao ano de 2016. O objetivo do governo francês é alcançar, até 2030, 32 % de toda a produção energética do país em forma de energia renovável, por meio do programa “*Place au soleil*”, que reduz impostos e proporciona créditos especiais para as instalações fotovoltaicas no país (LIBOW, 2019).

Dada a importância da energia fotovoltaica em um futuro próximo para o Brasil e para a França, projetos nessa temática são cada vez mais necessários, a fim de promover uma utilização eficaz e consciente das energias renováveis. Nesse ínterim, o presente trabalho buscou contribuir para pesquisas na área, ao desenvolver um painel elétrico, que fosse capaz de controlar as cargas de saída do sistema de forma local e remota, baseado no consumo e na produção da energia solar.

Adicionalmente, buscou-se contribuir para os estudos na área, ao implementar o referido painel em uma instituição de ensino superior para fins didáticos. Em resposta à demanda do departamento de *Génie Électrique et Informatique Industrielle* (GEII¹) da UGA (*Université Grenoble Alpes*) por um novo laboratório no qual pudessem ser lecionadas diversas disciplinas teóricas e práticas sobre energia e painéis fotovoltaicos, redes e protocolo de comunicação *Modbus Ethernet e Modbus RTU (Remote Terminal Unit)*, programação de interfaces homem-máquina para medição, monitoramento, controle acionamento de cargas elétricas. O painel foi desenvolvido e instalado no *Institut Universitaire de Technologie 1* (IUT1) da *Université Grenoble Alpes* (UGA). Os alunos e usuários do painel poderão utilizá-lo para desenvolver as competências envolvidas nessas disciplinas, levando, por consequência, a difusão e facilitação do conhecimento para os alunos da UGA e por ventura, ao mundo acadêmico e profissional como um todo.

¹ Engenharia Elétrica e Informática Industrial

Este trabalho foi desenvolvido pela participação no processo de mobilidade acadêmica internacional do edital da Secretaria de Relações Internacionais (SRI) nº 06/2018 em parceria com a Diretoria de Graduação (DIRGRAD) do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) e o convênio entre o CEFET-MG e diversas instituições estrangeiras da Europa e da América do Sul. O intercâmbio se deu início em fevereiro e terminou em junho de 2019, na cidade de Grenoble, que se localiza no sudeste da França. O autor foi responsável, em conjunto com o seu orientador da *Université Grenoble Alpes*, Pierre Canat, por esboçar, planejar e desenvolver o referido painel, pioneiro na universidade, o qual será posteriormente replicado, de forma idêntica, por outros alunos.

É possível encontrar na literatura painéis de controle semelhantes ao desenvolvido neste trabalho também aplicados para fins didáticos; no entanto, esta proposta utiliza o que se tem mais novo, no presente tempo da pesquisa, em termos de controladores no mundo da automação industrial. A título de comparação, o projeto de uma bancada inteligente com a utilização de energia solar e eólica desenvolvido por Rodrigues (2014), por exemplo, foi desenvolvido e instalado na Universidade de Brasília, entretanto fez-se o uso de componentes analógicos para a medição de corrente e tensão.

Em contrapartida, o painel elétrico didático multifuncional aqui proposto utiliza uma nova tecnologia da *Schneider*, na qual as medições de tensão, corrente, potência e energia são enviadas de forma *wireless* diretamente para o concentrador do sistema em tempo real. Além disso, o painel tem sua própria Interface homem-máquina, que permite ao usuário verificar todos os dados e operá-lo de forma local ou remota pelo *web browser* dos controladores e, até mesmo, via *Smartphone*. Assim, o presente projeto se destaca por desenvolver um painel elétrico multifuncional para controle de cargas de saída em função do consumo e produção fotovoltaica com novas tecnologias de automação industrial.

Para tanto, foi necessária a divisão do projeto em diversas etapas, como seguem:

- Desenvolvimento de três diagramas elétricos: de potência, de comando e de rede que representassem o conceito completo do projeto, envolvendo toda a parte de cabeamento como tagging para identificação dos cabos e tabelas com as devidas abreviações utilizadas;
- Teste de todos os componentes instalados e realização das devidas configurações de rede para deixar todos os equipamentos conectados na mesma rede local da *Université Grenoble Alpes*;

- Montagem do painel elétrico: instalação dos trilhos para acomodar os componentes eletroeletrônicos e das canaletas para passagem dos cabos, segmentação dos cabos elétricos e crimpagem dos conectores;
- Planejamento do *layout* físico dos componentes elétricos, baseado na dimensão da placa para montagem do painel disponível e também no local onde o painel seria instalado, observando-se a altura das interfaces visuais, uma vez que os alunos precisarão interagir com elas;
- Configuração do controlador e concentrador de informações *Smartlink* para controle remoto e monitoramento das variáveis de processo.
- Projeto de um suporte metálico para fixação da Interface-Homem-Máquina (IHM): realização de um desenho técnico nas três vistas principais (superior, lateral esquerda e frontal) além de um esboço 3D no plano cartesiano;
- Programação da IHM para o monitoramento do consumo e produção de energia, controle manual e automático das cargas em função das entradas do sistema por meio de botões virtuais, mostrando no *display* os valores de corrente, tensão e potência das cargas conectadas às saídas;
- Adição das anilhas numeradas e etiquetas de identificação para facilitar a localização de condutores elétricos e a leitura dos diagramas desenvolvidos;

A seguir, os fundamentos relacionados à energia solar fotovoltaica, painéis elétricos, sistemas de controle e monitoramento, protocolo de comunicação *Modbus* e interface homem-máquina são apresentados, bem como uma breve revisão da literatura sobre os trabalhos envolvendo painéis/bancadas presente na seção painéis elétricos. Na sequência, cada uma das etapas descritas acima é apresentada na seção de metodologia, evidenciando as tecnologias empregadas e como essas foram utilizadas. Na seção seguinte, os testes realizados com o painel são apresentados e seus resultados são discutidos a fim de ratificar os potenciais do painel e o cumprimento dos objetivos de pesquisa. Por fim, nas considerações finais, é feita uma sumarização do trabalho como um todo, envolvendo possíveis replicações do projeto em questão e adaptações e melhoramentos para aumentar a performance e aplicabilidade desse.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguinte seção tem como objetivo geral apresentar os principais temas necessários para um melhor entendimento do projeto como um todo. Os tópicos abordados serão: a energia solar fotovoltaica, definições e principais componentes de painéis elétricos, sistemas de controle e monitoramento e suas funções, protocolo de comunicação *Modbus* e, por último, é exposta uma revisão sobre interfaces homem-máquina.

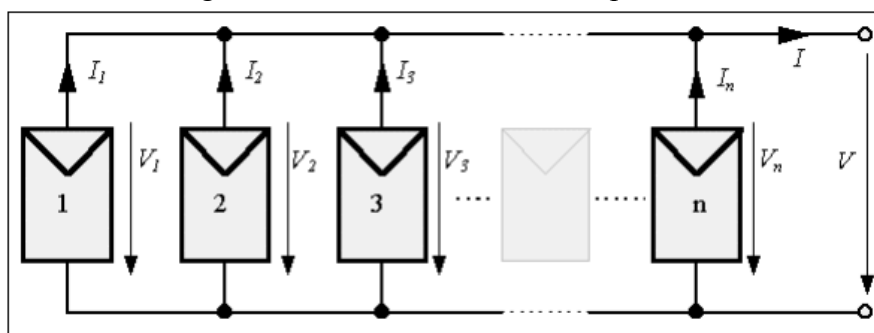
2.1 Energia solar fotovoltaica

O sol é uma fonte de energia primordial e abundante na Terra, a qual, segundo Pinho e Galdino (2014), além de inesgotável, detém enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outros tipos de energia. Segundo Villalva (2015) a energia solar fotovoltaica é obtida por meio da conversão direta da luz em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico. Esse efeito, que é a base dos sistemas de produção de energia solar fotovoltaica, consiste na transformação da radiação eletromagnética do sol em energia elétrica, por meio da criação de uma diferença de potencial (d.d.p), ou seja, uma tensão elétrica, sobre uma célula formada por materiais semicondutores, como o silício, por exemplo. Caso a célula seja conectada a dois eletrodos, haverá tensão elétrica sobre eles. Ainda segundo o autor, se houver um caminho elétrico entre os dois eletrodos, há também uma corrente elétrica.

“Um sistema fotovoltaico é composto por quatro componentes: os painéis solares, os controladores de carga, os inversores e as baterias. Cada um exerce uma função de acordo com o tipo de instalação do sistema” (BOSO; GABRIEL; FILHO, 2015, p.60).

Consoante a Cresesb (2006), devido à baixa tensão e corrente de saída em uma célula fotovoltaica, são feitos agrupamentos de várias células, que são normalmente feitas de silício (Si). Tais agrupamentos são denominados módulos fotovoltaicos e podem ser conectados em série ou em paralelo. Ao conectar as células em paralelo, soma-se as correntes contínuas produzidas pelo efeito fotovoltaico de cada módulo (Figura 2); em contrapartida, a tensão do módulo é exatamente a mesma tensão da célula. Como a tensão de uma célula é em torno de 0,7 V e a corrente máxima por volta de 3 A, por consequência, devido à baixa tensão de saída, o arranjo em paralelo não é muito utilizado (CRESESB, 2006).

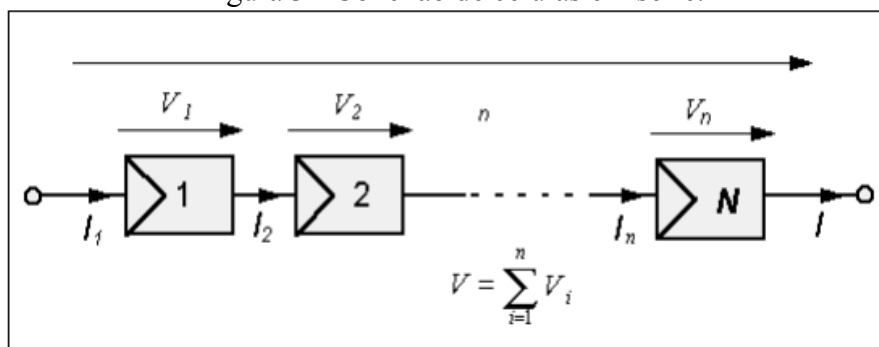
Figura 2 - Conexão de células em paralelo.



Fonte: Cresesb (2006).

A conexão mais comum de células fotovoltaicas em módulo é o arranjo em série, uma vez que ele consiste em agrupar um maior número de células em sequência. Conforme ilustra a Figura 3, somando-se as tensões de cada módulo, chega-se a um valor final próximo de 12 V, o que possibilita a carga de acumuladores de energia (baterias) que também funcionam nessa faixa de tensão (CRESESB, 2006).

Figura 3 - Conexão de células em série.



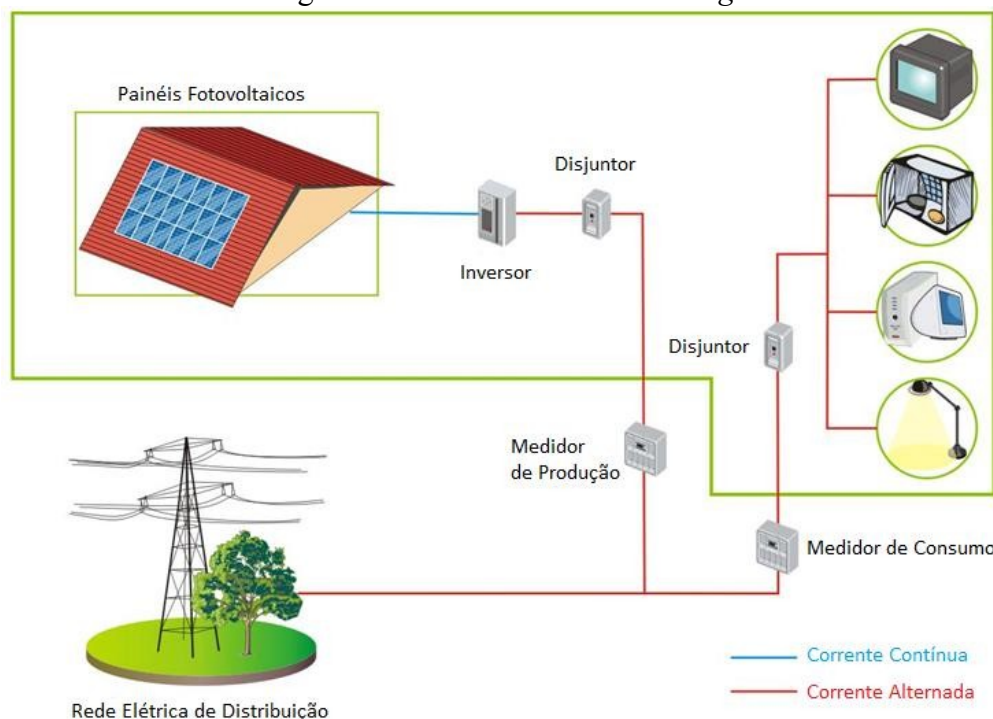
Fonte: Cresesb (2006).

Existem dois tipos básicos de instalação de sistemas de produção de energia elétrica a partir de energia fotovoltaica utilizando módulos fotovoltaicos: o sistema *on-grid*, que é conectado à rede elétrica, bastante utilizado em residências, indústrias, universidades e estabelecimentos comerciais; e o sistema *off-grid*, no qual o sistema é isolado da rede elétrica – é muito utilizado em lugares mais afastados, como fazendas ou para alguma aplicação específica, como uma antena de propagação de sinal no meio de uma empresa mineradora.

Conforme explicam Boso, Gabriel e Filho (2015), o sistema *on-grid*, esquematizado na Figura 4, funciona em função da sua conexão com a rede elétrica de transmissão. Esse tipo de sistema, além de produzir energia por meio dos módulos fotovoltaicos, é capaz de repassar para a fornecedora de energia o excesso de produção, que não foi utilizado, a qual o

contabiliza em forma de créditos. Esses créditos são reservados por determinado tempo e, caso o proprietário da residência não os utilize no período determinado, essa energia é redistribuída pela fornecedora.

Figura 4 - Sistema fotovoltaico *on-grid*.



Fonte: Traduzido² da apresentação de Pierre Canat em sua comunicação oral - *UGA Chapitre 1_3 Cellules et modules* (2015, p.20).

Em contrapartida, o sistema *off-grid* esquematizado na Figura 5, não é conectado à rede elétrica e, por consequência, necessita de armazenadores de energia, que são as baterias. Essas baterias são constantemente recarregadas e monitoradas por um dispositivo controlador de carga MPPT (*Maximum Power Point Tracking*³). Esse tipo de sistema carece de um maior investimento para produzir a mesma quantidade de energia consumida por uma residência tal qual se essa fosse produzida pelas concessionárias de energia. O problema se agrava ainda mais caso a produção seja reduzida por alguma causa natural, como excesso de nuvens e baixa insolação, fato que faz com que seja necessário superdimensionar as baterias para

² Todas as traduções do presente trabalho foram realizadas pelo autor.

³ Rastreador de Ponto Máximo de Potência.

estocar uma quantidade maior de energia para se utilizar nessas situações críticas (BOSO; GABRIEL; FILHO, 2015).

Figura 5 - Sistema fotovoltaico *off-grid*.



Fonte: Consultrevi Solar (2017).

Os conversores eletrônicos de potência, também conhecidos como inversores, conforme Freitas (2008), são utilizados no sistema fotovoltaico para converter a energia elétrica produzida em corrente contínua (CC) pelos painéis fotovoltaicos em corrente alternada (CA) monofásica ou trifásica com características de frequência e tensão adequadas para a sua ligação. Nos sistemas *on-grid*, o inversor é o responsável por receber a energia produzida, verificar o que está sendo consumido e repassar o excesso à concessionária de energia. Os inversores, ilustrados na Figura 6, são sincronizados automaticamente com a própria rede elétrica ou auto comutados com um circuito eletrônico interno. Os inversores, usualmente, estão fixados em paredes em ambientes controlados ou em um painel elétrico.

Figura 6 – Ilustração de um conversor eletrônico de potência CC/CA.



Fonte: Comunicação oral de Pierre Canat – UGA, *Chapitre 1_4 Les onduleurs* (2015, p.3).

2.2 Painel elétrico

Um painel elétrico, de acordo com Preti (2014), pode ser conceituado como um compartimento modular, utilizado para alocar dispositivos eletroeletrônicos em seu interior. Geralmente, painéis são construídos em chapas metálicas, com perfis de dobras perfurados ou não e, em sua maioria, com um sistema de fechamento. O autor ainda completa que os painéis elétricos devem ser construídos com materiais capazes de resistir a esforços mecânicos, elétricos e a variações térmicas, bem como aos efeitos da umidade.

Além disso, um painel pode ter a função tanto de distribuir a energia quanto de controlar algum tipo de sistema específico, necessitando, então, de um arranjo e componentes singulares a cada contexto de uso, o que tem levado a uma constante inovação desse tipo de tecnologia. Apesar dessa singularidade nas funções a serem exercidas pelos painéis, comumente, eles são constituídos, segundo Silveira (2015), por:

1. Transformador: usado para converter uma tensão CA em outra tensão CA, mais comumente converte de 440V ou 380V para 220V ou 110V. Também pode ser usado como isolador, mantendo o mesmo nível de tensão.
2. Controlador: considerado o principal componente de um painel de comando. Ele é capaz de ler entradas e, a partir disso, executar programas e comandos para operar as saídas e, por consequência, controlar as cargas;
3. Fonte de Alimentação: converte uma tensão CA em outra CC. Basicamente responsável por proporcionar o nível de tensão adequado aos componentes instalados no painel;
4. *Switch Ethernet*: utilizado para conexão de controladores e interfaces em redes de sistema de informação e para sistemas supervisórios;
5. Disjuntor: protege as cargas em caso de curto-circuito ou sobrecargas elétricas;
6. Chave Seccionadora Geral: tem como principal função a desconexão total da energia elétrica do painel elétrico;
7. Canaletas: usualmente alocadas no perímetro da placa de montagem do painel elétrico ou entre filas de componentes e tem como função alojar os fios que interconectam os componentes;
8. Bornes: empregados para fazer interconexões do cabeamento, evitando a realização de emendas. Também são usadas para manter a organização do painel e facilitar a entrada de cabos que venham de origem externa ao painel;

9. Placas de conexão: são blocos de terminais empregados para simplificar a segmentação de cabos elétricos, evitando o uso de solda elétrica;
10. Fusíveis: assim como os disjuntores, protegem as cargas contra sobrecorrentes por meio do rompimento do seu filamento interno, porém seu uso é único e deve ser substituído após sua queima;
11. Relé: interruptor utilizado para o chaveamento de cargas, operado eletricamente ou magneticamente por meio da energização de sua bobina que irá, posteriormente, fechar ou abrir seus contatos mecânicos;
12. Trilho DIN (*Deutsches Institut für Normung*): trilho de metal que permite a montagem da maioria dos componentes eletroeletrônicos. Seu nome é uma homenagem ao responsável por publicar suas especificações originais;
13. Relé Térmico: utilizado para proteger as cargas por sobrecorrente, geralmente motores elétricos trifásicos;
14. Contator: dispositivo eletromecânico que permite, entre outras coisas, o acionamento de cargas por meio de seus contatos de força e de comando;
15. Bornes de aterramento: são aplicados para aterrar os dispositivos do painel elétrico, sendo esses geralmente aterrados ao interior do painel. Possui cor verde e amarela.

A Figura 7 ilustra a disposição de cada um desses componentes em um painel elétrico, identificados de acordo com a numeração apresentada acima.

Figura 7 - Painel elétrico e seus componentes.



Fonte: Adaptado de Silveira (2015).

Oliveira (2019) desenvolveu um projeto que trabalha com um sistema didático fotovoltaico *off-grid*, com objetivo geral a criação de uma bancada/painel didático para análise de algumas grandezas, tais como: tensão, corrente gerada e carga da bateria para um sistema *off-grid*, além da utilização da bancada em disciplinas ministradas na Universidade de Ouro Preto. Para tanto, foram instalados amperímetros, voltmímetro, um controlador de carga MPPT, uma bateria estacionária, entre outros componentes. Além disso, nas saídas do controlador de carga e do inversor, foram instaladas lâmpadas em CC e CA para a iluminação do laboratório da universidade. A

Figura 8 apresenta o projeto do autor.

Figura 8 – Bancada didática para sistema fotovoltaico *off-grid*.



Fonte: Oliveira (2019, p.27).

Ao final de seu trabalho, Oliveira (2019) observa a necessidade da instalação de um sistema de monitoramento em tempo real para maior acesso às informações do projeto. O presente trabalho trata essa demanda por meio da interface homem-máquina de forma

local e de forma remota, através de conexão direta via IP (*Internet Protocol*) dos controladores do sistema.

Outra pesquisa envolvendo aplicação didática de painel/bancada de trabalho com o envolvimento de energia solar implementada no Brasil foi realizada recentemente por Rodrigues (2014), conforme mencionado na introdução deste trabalho. Uma grande inovação do referido projeto é o uso paralelo para energia solar e eólica, entretanto, para a construção da bancada, o autor usou medidores analógicos, programação e interface gráfica via *Matlab*. O autor também construiu placas de circuito contendo sensores de corrente e divisores de tensão. A Figura 9 mostra a bancada produzida por Rodrigues (2014).

Figura 9 – Bancada didática experimental para uso de energia eólica e fotovoltaica.



Fonte: Adaptado de Rodrigues (2014).

O painel elétrico multifuncional, apresentado na presente pesquisa, por sua vez, propõe um controle de cargas mais dinâmico e em tempo real de forma local via IHM programada pelo autor e de forma remota via *browser*, visto que a aquisição de dados é feita de forma digital via *wireless* por sensores de tensão, corrente, energia e potência. Também foi empregado um sistema de redundância de medição de energia da *Schneider*, para fins didáticos, adequado para o uso com energia fotovoltaica e derivados, portanto, para a união

desses propósitos, foi implementado um sistema de controle e monitoramento de alta tecnologia cujos fundamentos são detalhados em sequência.

2.3 Sistemas de controle e monitoramento

Sistemas de controle de monitoramento, segundo Alphonsus e Abdullah (2016), têm como principal característica a aquisição de dados de determinado processo e, por meio destes, realizam uma tomada de decisão para controle. Os autores também completam que, devido à necessidade da área de automação industrial aumentar constantemente, o sistema de controle de determinado processo necessita ser facilmente programável, flexível e confiável.

Ademais, conforme os autores, a utilização de CLPs (Controladores Lógico Programáveis) - dispositivos robustos capazes de automatizar processos complexos e sequenciais - vem aumentando gradativamente desde 1960. Em contrapartida, esse tipo de controlador, além de ser uma tecnologia com caráter industrial, sofre muita interferência de outros equipamentos que utilizam radiofrequência como celulares que são muito presentes em universidades (PUPO, 2002). Mais recentemente, a *Schneider Electric* criou um novo dispositivo controlador que não sofre de interferência por radiofrequência, além de apresentar uma maior flexibilidade para fins didáticos em termos de interface, aquisição de dados e comunicação com outros dispositivos de acionamentos de cargas.

Segundo o manual da *Schneider Electric* (2016), o *Acti 9 Smartlink* (Figura 10) é um intermediador entre um sistema supervisório mais complexo e o sistema elétrico propriamente dito; conquanto, ele pode ser aplicado para recuperar os dados de processo dos dispositivos, assim como controlá-los, caso necessário. As funções, sejam de leitura de dados ou ação, dependem do dispositivo conectado em seus canais de entrada. O dispositivo é equipado com um terminal de alimentação 24 V e *leds* de informação.

Figura 10 - *Schneider Smartlink Ethernet*.



Fonte: *Schneider Electric* (2016).

Ainda segundo o mesmo manual, o *Acti 9 Smartlink* é um dispositivo que contém 7 canais digitais de 24 VCC e um canal analógico que pode ser utilizado por um dispositivo de 4...20 mA ou de 0...10 VCC. As informações podem ser transmitidas do *Smartlink Ethernet* para um CLP ou um sistema de supervisão via comunicação por protocolo *Modbus TCP/IP*. Os canais do dispositivo também podem ser usados para transmitir entradas e saídas padronizadas. O *Smartlink Ethernet* pode, portanto, se comunicar com outros dispositivos *Schneider*, sendo eles:

- Produtos *Acti 9*: chave de controle para contatores iACT24, relés de impulso iATL24, contatos auxiliares iOF+SD24 para disjuntores iC60, contatos auxiliares OF+SD24 para disjuntores C60, e *Reflex* iC60, que é um disjuntor controlável com interface Ti24;
- Medidores: iEM2000T ou outros medidores *Schneiders*;
- Medidores de energia *PowerTag*;
- Qualquer produto com saída analógica (4...20 mA ou 0...10 V).

A interface Ti24 da *Schneider* é uma forma simples e segura para conectar todos os dispositivos e componentes compatíveis (24 VCC) com os canais de entrada do *Smartlink*. Ela é composta por um conector pré-montado de 5 pinos fêmea com um comprimento padrão que pode variar de 100 mm até 4000 mm. Essa interface pode ser vista no Quadro 1, no qual são ilustrados seus terminais de conexão e suas respectivas funções.

Quadro 1 - Interface Ti24.

Descrição do conector Ti24	
Terminal	Descrição
24 V	24 V da fonte de alimentação
Q	Saída para controle
I2	Entrada número 2
I1	Entrada número 1
0 V	0 V da fonte de alimentação

Fonte: Traduzido e adaptado de *Schneider Electric Acti 9 Smartlink SI B User Manual* (2016, p.19).

De acordo com o manual do usuário da *Schneider Electric* (2016), a utilização do dispositivo apresenta as seguintes vantagens e serviços que também podem ser aplicadas a um painel elétrico, tais como: funções de cálculo, aplicações de telemetria, monitoramento de

carga desbalanceada, monitoramento de energia e quedas de tensão, alarmes de temperatura, umidade e luminosidade, gerenciamento de energia e controle esquematizado da distribuição elétrica.

O *Smartlink Ethernet* pode ser conectado com até outros 8 dispositivos subordinados caso seja conectado ao mestre um *Smartlink Modbus* Escravo, este, por sua vez, poderá gerenciar e se conectar com até mais 11 dispositivos pela interface Ti24 (contatores controláveis, disjuntores controláveis, contatos auxiliares para relés e contatos auxiliares para disjuntores (ELECTRIC, 2016). A comunicação entre os escravos e o dispositivo mestre, o *Smartlink Ethernet*, é, de fábrica, via *Modbus RTU (Remote Terminal Unit)* por de comunicação serial RS-485, por consequência, esse protocolo será explicado na próxima seção.

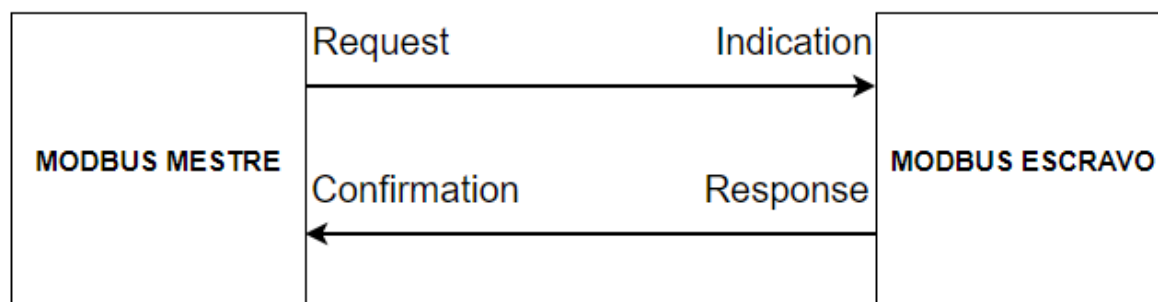
2.4 Protocolo de comunicação *Modbus*

Segundo Reynders, Mackay e Wright (2005), o *Modbus* é definido como um protocolo de comunicação que fornece uma comunicação cliente-servidor, entre dispositivos conectados em diferentes tipos de redes. Os autores completam que as mensagens entre o cliente (mestre) e o servidor (escravo) são usadas para a troca em tempo real de informação entre dois dispositivos de aplicação, entre dispositivos no campo ou entre aplicações de IHM ou Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA). Ainda é salientado que o protocolo *Modbus* implementa uma arquitetura cliente/servidor e opera, essencialmente, em um sistema de solicitações (demandas) e respostas. Esse sistema de interação é baseado em 4 tipos de mensagens nomeadas, esquematicamente apresentadas na Figura 11 conforme a legenda abaixo:

- *Modbus requests* (solicitações): a mensagem é enviada para a rede pelo mestre para iniciar a comunicação;
- *Modbus indications* (indicações): a solicitação é recebida no lado do escravo;
- *Modbus responses* (respostas): a resposta é enviada pelo escravo;
- *Modbus confirmations* (confirmações): a resposta é recebida no lado do mestre.

⁴ Sistema de Controle e Aquisição de Dados

Figura 11 – Interação mestre (cliente) e o escravo (servidor) *Modbus*.



Fonte: Traduzido e adaptado de Reynders, Mackay e Wright (2005).

Os escravos podem realizar, de acordo com as requisições, o comando solicitado pelo mestre, enviar algum tipo de dado que foi solicitado ou informar que a requisição não pode ser executada, apresentando o endereço do escravo, a ação que foi solicitada e o motivo pelo qual a ação não foi executada. Caso o mestre não receba nenhum tipo de resposta do escravo, seja de erro ou confirmação da ação, este irá reenviar a solicitação para o endereço do escravo em questão, que pode estar compreendido de 1 até 247, sendo de 248 até 255 são endereços reservados e 0 um endereço de *broadcast*, que é quando o mestre envia uma mensagem para todos os escravos. O *frame* de comunicação, na forma serial, divide-se em endereço, código da função, mensagem e verificação de erros. O quadro 2 mostra alguns códigos das funções para leitura e escrita dos/nos escravos (REYNDERS; MACKAY; WRIGHT, 2005).

Quadro 2 – Funções do protocolo *Modbus*.

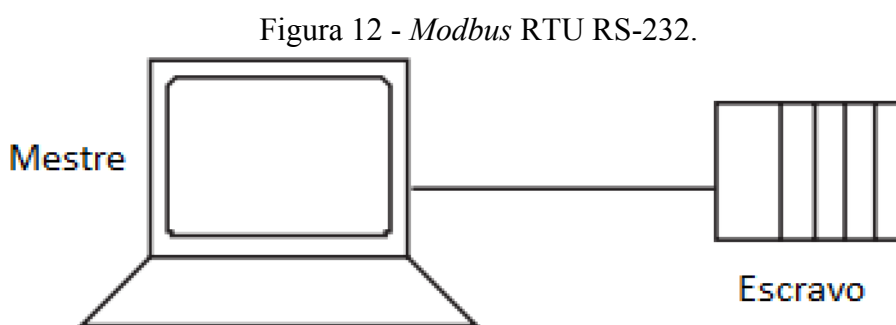
Código da função	Descrição
1	Leitura de bloco de bits do tipo saída discreta (<i>coil</i>)
2	Leitura de bloco de bits do tipo entrada discreta
3	Leitura de bloco de registradores do tipo <i>holding</i>
4	Leitura de bloco de registradores do tipo <i>input</i>
5	Escrita em um único <i>bit</i> do tipo saída discreta
6	Escrita em um único registrador do tipo <i>holding</i>
15	Escrita em bloco de bits do tipo <i>coil</i>
16	Escrita em bloco de registradores do tipo <i>holding</i>

Fonte: Reynders, Mackay e Wright (2005).

O protocolo *Modbus* pode se dividir em serial baseado em redes via RS-485 e RS-232 ou em TCP/IP. O protocolo *Modbus RTU*, que é uma forma de *Modbus* serial aplicada ao meio

físico RS-485 ou RS-232, apresenta em seu modo de transmissão endereços e valores entre 32767 e -32768 que são codificados em binário, representados por 2 *bytes*. Cada palavra no modo RTU é de 8 *bits* (BELLIARDI; NEUBERT, 2017).

De acordo com Zurawski (2017), o *Modbus* RTU via RS-232 (Figura 12) apresenta uma distância máxima entre o mestre e o escravo de aproximadamente 15 metros, que é de fato o comprimento do meio físico RS-232 e é *full-duplex*, ou seja, ele pode transmitir dados em ambas direções, tanto envios quanto recebimentos simultaneamente. Além disso, um dos principais problemas do RS-232 é a falta de imunidade ao ruído, uma vez que este trabalha com uma linha zero em comum e apresenta um cabo reto com tensões de -12 V até +12 V. Um conector de um cabo RS-232 é usualmente composto por 9 fios, todavia em alguns conectores, são usados 25 fios, tendo cada um destes, um propósito diferente na transmissão de dados. Ademais, o autor adiciona que esse tipo de aplicação permite somente um mestre e um escravo, sendo conhecido como uma conexão ponto a ponto, conforme observado abaixo.

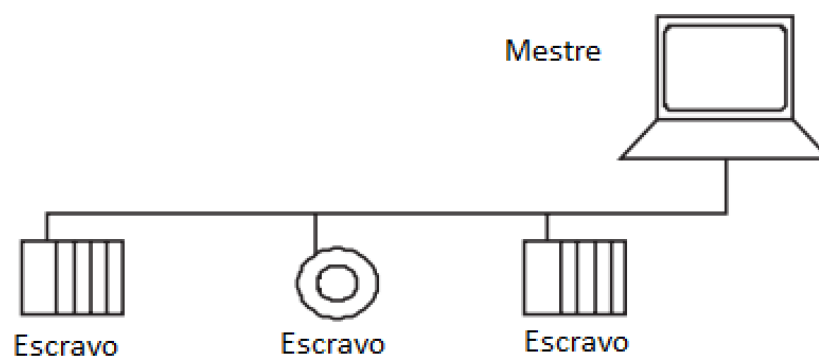


Fonte: Traduzido de Zurawski (2017).

Todavia, segundo Zurawski (2017), por meio da serial RS-485, que é utilizada na comunicação entre o *Smartlink Ethernet* e os dois escravos, o *Smartlink Modbus*, uma maior flexibilidade é obtida, uma vez que é possível haver até 32 escravos na rede sem o uso de um repetidor, ou ainda até 247 escravos com repetidores de sinal na rede, fato que caracteriza uma topologia multipontos. O autor adiciona que o comprimento máximo de uma rede por RS-485 é de 1200 metros, essa distância de propagação é devido ao fato do RS-485 trabalhar com um cabo do tipo par trançado com tensões diferenciais entre +5 V e -5 V que apresenta alta imunidade a ruídos, logo, quando uma interferência eletromagnética atinge o par, esse distúrbio atua em ambas as polaridades, mantendo então a diferença de potencial para a transmissão das informações. O meio físico da rede via RS-485 tem uma estrutura de cabos com um terra e um par de fios trançados diferenciais usados como Tx+/ Tx- para realizar a

transmissão do sinal e como Rx+ / Rx- para receber a informação transmitida. Ainda de acordo com o autor, a velocidade de transmissão deve ser a mesma para todos os dispositivos da rede, mestre e escravos e a transmissão é nativa do tipo *half-duplex*, na qual a transmissão só pode ser executada em uma direção por vez.

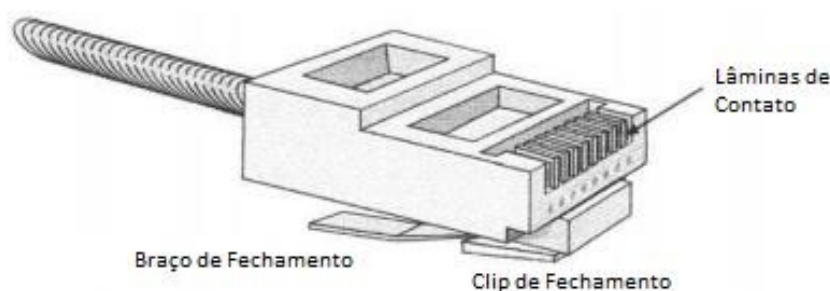
Figura 13 - *Modbus* RTU RS-485.



Fonte: Traduzido de Zurawski (2017).

Consoante a Zurawski (2017), o *Modbus* TCP/IP apresenta dados encapsulados em formato binário em *frames* TCP, utilizando o meio físico *ethernet* para o estabelecimento da comunicação entre o mestre e o escravo por uma distância máxima de até 200 metros que irá depender do tipo de cabo utilizado, das condições de sua instalação e de sua qualidade. A Figura 14 mostra a estrutura de um cabo *Ethernet* que foi utilizado como meio físico para a comunicação via *Modbus* TCP/IP entre diversos dispositivos no painel elétrico, tais como: comunicação entre o *Switch*, o *Smartlink Ethernet*, o controlador *Spacelynk* e a Interface Homem Máquina *Magelis* responsável pelo monitoramento local do sistema, essa última será apresentada na próxima na seção.

Figura 14 – Cabo *Ethernet* com conector RJ-45.



Fonte: Traduzido de Reynders, Mackay e Wright (2005).

2.5 Interface homem-máquina

Segundo Oliveira, Ferreira e Furst (2013), devido à constante evolução da tecnologia, os computadores e celulares se tornaram equipamentos domésticos, com acesso flexível à grande maioria das pessoas. Conquanto, no início, houve uma necessidade de se melhorar a comunicação entre o usuário e a máquina, dando, então, início a uma crescente melhoria nas interfaces.

Ainda de acordo com os autores, a Interface Homem-Máquina (IHM) é a interface entre o processo e os operadores. Sendo essencialmente o painel de controle do operador, as IHMs servem para traduzir as variáveis de processo, como tensão, corrente, potência, temperatura, vazão, em informações apropriadas, ordenadas e úteis ao usuário. Algumas interfaces homem-máquina também estão atualmente presentes em jogos de computadores e celulares, fazendo a interação entre o sistema de processamento por trás do jogo e o jogador (SÁ, 2011).

Na evolução das interfaces homem-máquina, é possível verificar três tipos básicos de interfaces: CLI (*Command Line Interface* ou Interface de Linha de Comando), GUI (*Graphical User Interface* ou Interface Gráfica do Usuário) e por último a NUI, (*Natural User Interface* ou Interface Natural do Usuário) (SÁ, 2011). Ainda segundo Oliveira, Ferreira e Furst (2013), a CLI, que surgiu por volta de 1950, é um mecanismo de interação com uma máquina por meio da digitação de comandos de texto para realização de tarefas específicas, como, por exemplo, em máquinas de escrever eletromecânicas, usadas para transmitir mensagens escritas nelas de um ponto a outro.

Consoante a Sá (2011), a GUI é um tipo de interface que permite a interação com imagens em vez de comandos de textos, podendo ser encontrada em computadores, dispositivos de jogos e celulares. Atualmente, esse termo é mais conhecido em alguns programas de computador nos quais o usuário executa ações por meio de cliques, toques ou comandos reconhecidos por algum dispositivo de entrada, como: teclados, *mouses*, controles ou *joysticks*. A Figura 15 exemplifica um dispositivo de entrada para interfaces gráficas do usuário.

Figura 15 – Controle do videogame Super Nintendo.



Fonte: Sá (2011).

Conforme Oliveira, Ferreira e Furst (2013), a GUI é mais intuitiva que sua antecessora CLI, apesar de as CLIs ainda poderem ser encontradas atualmente em servidores nos quais podem-se executar comandos para desconectar jogadores, finalizar partidas, comandos para configurações, entre outros. Os autores também completam que as interfaces gráficas dispensam a necessidade de memorização de diversos comandos, tornando-as mais atraentes para os usuários, principalmente para aqueles que não possuem muito conhecimento técnico em programação e linhas de código.

Uma das interfaces homem-máquina mais conhecida no mundo dos computadores é a do sistema operacional Windows 10 - constituída por blocos coloridos na tela inicial do sistema. Esses blocos representam aplicativos e acessórios dinâmicos, que podem, ao serem conectados à internet, fornecer informações em tempo real sobre atualizações de *status* em redes sociais, dados meteorológicos e atualizações do sistema em geral. Essa interface homem-máquina foi otimizada pela Microsoft para o uso em dispositivos com telas de toque, como *tablets*, *notebooks* e *desktops*. A Figura 16 mostra essa interface gráfica do usuário em funcionamento.

Figura 16 – Interface gráfica do usuário.



Fonte: Beggiora (2015).

No que se refere à NUI, de acordo com Garbin e Maeda (2010), trata-se de uma interface que é praticamente invisível ou que acaba tornando-se invisível com sucessivas

interações aprendidas, ou seja, ela utiliza de habilidades computacionais já existentes de um usuário, inatas ou até mesmo adquiridas por meio da prática e vivência de comunicação, verbal ou não, com outros seres humanos e até mesmo com o ambiente ao seu redor. A diferença principal está no fato de uma GUI e uma CLI se definirem na forma de entrada, enquanto a NUI se define no modo como é realizada a interação, necessitando sempre de um *feedback* pelo usuário para que ele verifique se a entrada, seja ela introduzida por gestos, toques ou fala, está correta. Essa confirmação pode ser produzida por uma caixa de texto, repetição de informações e imagens.

Segundo Sá (2011), uma aplicação da NUI está presente cada vez mais na indústria dos jogos nos principais *consoles* de videogames e dispositivos de realidade virtual. A interface natural pode ser encontrada no *Oculus Rift* (Figura 17), sendo esse sensor de movimento utilizado para reprodução dos movimentos do usuários tipicamente em jogos de dança, ação e esportes.

Figura 17 – Óculos de realidade virtual *Oculus Rift*.



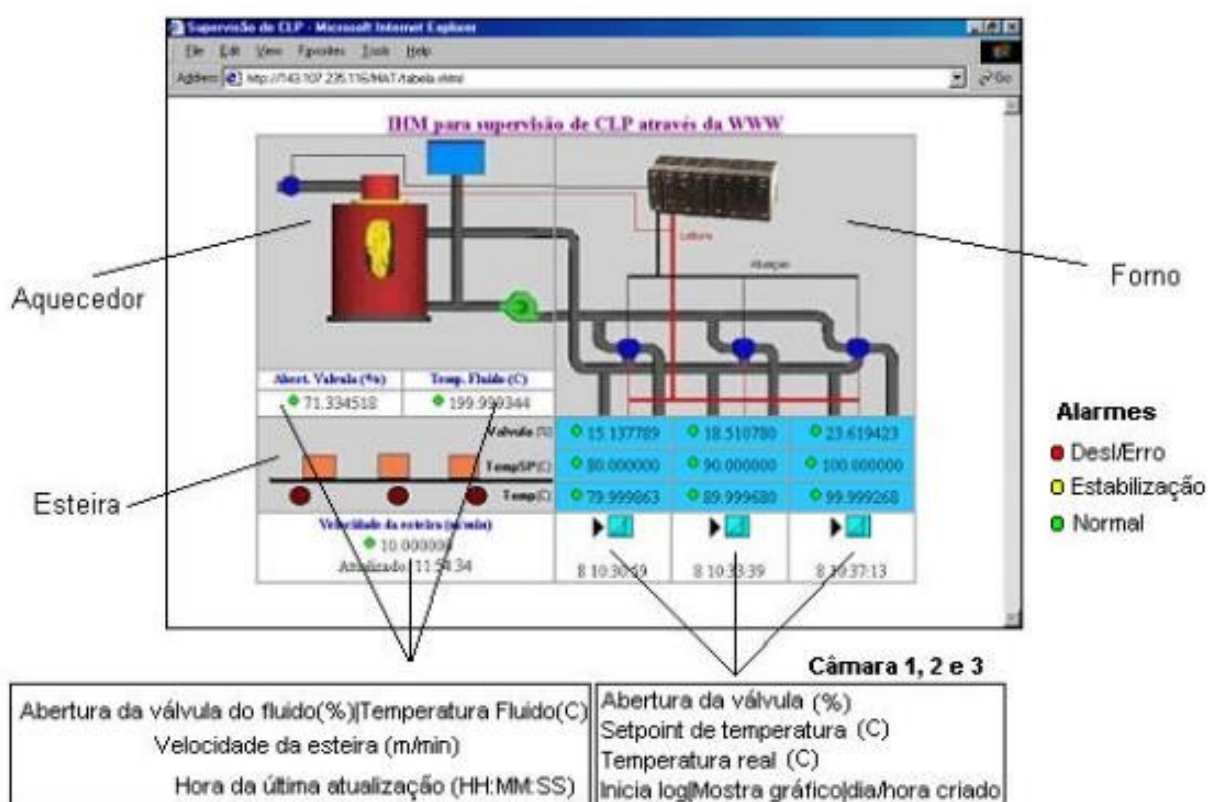
Fonte: *Oculus Rift* (2016).

A utilização de interfaces homem-máquina no mundo da automação é crescente e ocorre principalmente quando existe algo a ser controlado, monitorado ou executado, logo, de acordo com Pupo (2002), uma interface foi desenvolvida por ele para supervisão remota de um CLP em controle de processos através da WWW (*World Wide Web*) com o objetivo de obter e monitorar, em tempo real, todas as variáveis de processo do um forno industrial com controle

de temperatura em três câmaras diferentes. Neste projeto, o valor desejado de temperatura é inserido no controlador, e, por meio de sensores de temperatura, a temperatura da câmara é verificada e, conforme necessidade, atua-se nas válvulas de fluxo em cada câmara, para, então, obter-se o produto final, que é retirado por uma esteira com controle de velocidade.

Essa IHM proposta pelo autor apresenta indicadores verdes para sinalizar funcionamento normal, indicadores amarelos para sinalização de eventos, e alarmes, por meio de indicadores vermelhos, que aparecem no lugar dos dados quando o CLP estiver desligado ou quando qualquer variável não puder ser lida. Além disso, a interface também apresenta armazenamento de dados para geração de gráficos. Para a programação e criação das telas de supervisão, foi utilizado um projeto de desenvolvimento de CLP em Linux por meio do MAT (*Machine Automation Tools*⁵). Por meio da Figura 18, pode-se visualizar o forno industrial idealizado por Pupo (2002) com os três pontos de medição de temperatura, o aquecedor do sistema, as válvulas de fluxo (azul escuro) na entrada de cada câmara e a esteira do processo para retirada do produto final.

Figura 18 – Interface homem-máquina para controle e monitoramento de um forno.



Fonte: Adaptado de Pupo (2002).

⁵ Ferramenta de automação de máquinas.

Todavia, esse tipo de interface, apesar de funcional, deixa a tela um tanto quanto poluída, conforme é possível observar na figura acima, além de empregar imagens com aspecto pixelado. Uma solução de interface GUI mais moderna foi desenvolvida pela *Schneider Electric*, na qual a interface homem-máquina, denominada *Magelis*, tem uma fácil comunicação com controlador do sistema, além de uma tela com melhor resolução.

A interface, *Magelis* da *Schneider Electric* pode ser programada pelo seu próprio software de programação de licença livre (*Vijeo Designer*). A IHM possui comunicação de alto desempenho com conexão *Ethernet* incorporada, além de outras portas seriais multiprotocolos que facilitam a comunicação com diversos outros tipos de equipamentos. Caso necessário, a interface pode até ser programada via HDs (*Hard disk*) externos como pen drives (HOTZ, 2014).

Essa interface *Magelis* pode ser empregada em diversas aplicações, em meios industriais ou acadêmicos, e se comunica facilmente com outros dispositivos e equipamentos que apresentem alguma forma de leitura de dados via endereços *Modbus*, como inversores e CLPs. A plataforma de programação do mesmo fabricante permite ao usuário a criação de telas, botões, indicadores, caixas de textos e alarmes, além da indicação de variáveis e controles lógicos. A Figura 19 mostra um modelo do painel *touchscreen Magelis*.

Figura 19 – Interface homem-máquina *Magelis*.



Fonte: *Schneider Electric* (2016).

Na próxima seção será detalhado como a interface homem-máquina, o sistema de comunicação e o sistema de controle e monitoramento foram desenvolvidos e interligados no painel elétrico multifuncional para controle das cargas do sistema alimentadas por energia fotovoltaica.

3 METODOLOGIA

O propósito dessa seção é apresentar os procedimentos metodológicos utilizadas no desenvolvimento do painel elétrico multifuncional, desde a sua concepção inicial, passando pela montagem até o teste final, em que foi verificado se a proposta cumpria com o objetivo geral de pesquisa. A seguir, cada uma das etapas mencionadas no capítulo introdutório deste trabalho será detalhadamente descrita.

3.1 Diagrama e circuito elétrico

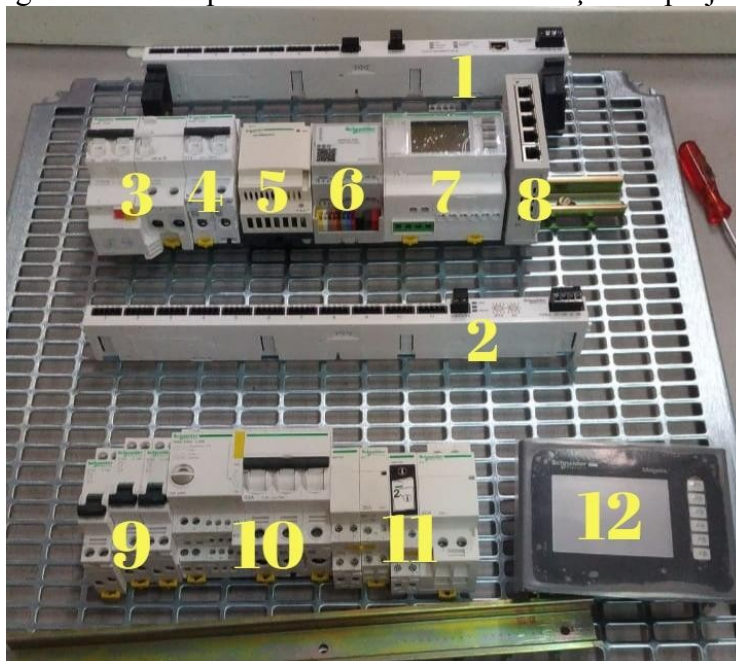
Para desenvolver e dimensionar um sistema elétrico é necessário estabelecer a quantidade de entrada e saídas do sistema. Por meio da verificação das necessidades pedagógicas e por questões de custos elevados, ficou definido que três saídas controláveis a distância seriam suficientes para simular algumas saídas, tais como, por suposição, o aquecimento do balão de água de uma residência, uma máquina elétrica de lavar louças e aquecedores elétricos de ambiente. Também ficou definido que haveria uma saída não controlável que poderia ficar ligada de forma permanente, como, por exemplo, a geladeira de uma casa.

Ademais, o *Schneider SpaceLynk* foi instalado para a criação de telas de supervisão, recuperação e monitoramento de dados, visando contribuir com aulas na área de domótica, por exemplo. Com o *SpaceLynk* instalado, os alunos podem exportar telas de supervisão para dispositivos móveis, como um celular ou um *tablet*. Para a comunicação entre o dispositivo citado, a interface homem máquina programável e o *Schneider Smartlink*, verificou-se a necessidade de instalação de um *switch* local para o tráfego de informações. Com as demandas elétricas e de comunicação definidas, uma lista de materiais, então, foi criada, a qual foi posteriormente comprada pela *Université Grenoble Alpes* para a execução completa do projeto. A Figura 20 mostra os componentes citados abaixo para a execução do projeto, exceto pelo contador de impulsões, todavia, esse pode ser encontrado posteriormente instalado no painel a esquerda do controlador secundário *SpaceLynk*.

- 1)1 *Schneider Smartlink Ethernet* (mestre);
- 2)1 *Schneider Smartlink Modbus 485* (escravo);
- 3)1 Disjuntor unipolar + neutro 32 A;

- 4) 1 Disjuntor unipolar + neutro 16 A;
- 5) 1 Alimentação 24 VCC 2 A;
- 6) 1 *Schneider SpaceLynk*;
- 7) 1 Medidor de energia *Schneider PM3250* com comunicação *Modbus RS-485*;
- 8) 1 *Switch*;
- 9) 3 Disjuntores unipolares de 10 A;
- 10) 1 Disjuntor controlável *Reflex iC60N*;
- 11) 2 Contatores controláveis *Iact24*;
- 12) 1 Interface digital *Schneider Magelis* modelo *HMIGTO1310*;
- 13) 1 Contador de impulsões para simulação de energia;

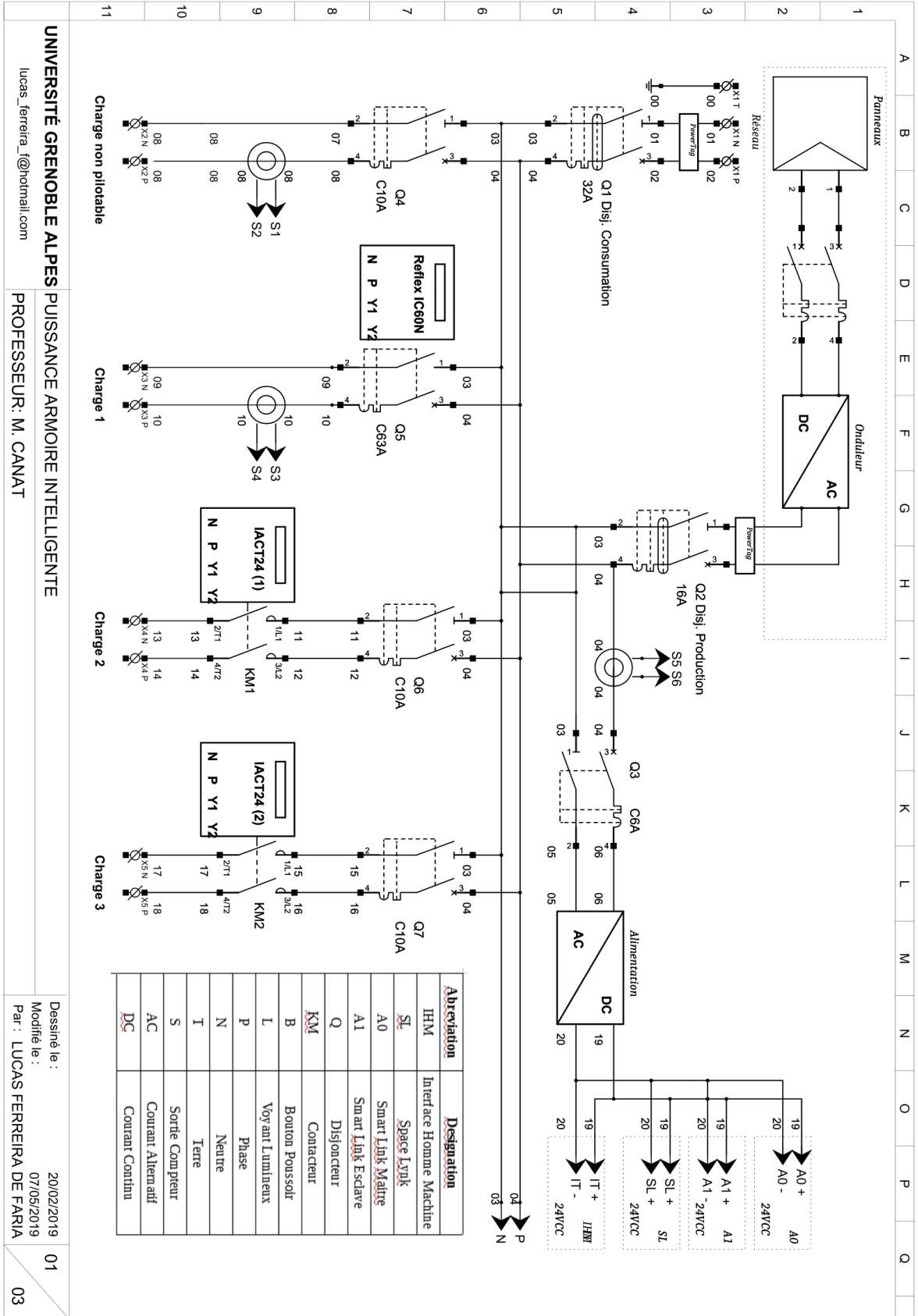
Figura 20 – Componentes utilizados na execução do projeto.



Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

Antes da execução de qualquer projeto em qualquer área da engenharia, são necessários desenhos técnicos que representem o projeto em questão, que usualmente começam por imagens em pensamento e em sequência por diagramas mais desenvolvidos (JÚNIOR, 2016). Por essa razão, foram realizados diversos diagramas elétricos (Figura 21) inicialmente à mão e, posteriormente, por meio do *software* especializado *Xrelais*, a fim de representar a concepção do painel, envolvendo a parte elétrica de potência, a parte de comando dos dispositivos por meio das interfaces *Ti24* e a parte de rede que envolve as conexões *Modbus RTU* e *TCP/IP*.

Figura 21 - Diagrama elétrico de potência.



UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES PUISSANCE ARMOIRE INTELLIGENTE
 lucas_ferreira_fm@hotmail.com
 PROFESSEUR: M. CANAT

Dessiné le : 20/02/2019
 Modifié le : 07/05/2019
 Par : LUCAS FERREIRA DE FARIA

01
 03

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Por meio da Figura 21, pode-se observar a parte relacionada à potência do painel elétrico, com a entrada de consumo pela rede de alimentação no canto superior esquerdo, e a entrada de produção pelo inversor logo à sua direita. Para a alimentação do painel elétrico, foi utilizado um sistema de 10 módulos fotovoltaicos de células policristalinas de 214 W de pico cada, já instalados na UGA, sendo a ligação feita com duas cadeias em paralelo de 5 painéis cada. Os painéis mostrados na Figura 22 estão todos instalados no terraço do departamento GEII da UGA e são usados para fins didáticos em seus departamentos de forma *off-grid* e *on-grid*.

Figura 22 – Painéis fotovoltaicos da *Université Grenoble Alpes*.



Fonte: Imagem captura pelo autor (2019).

O cabeamento advindo dos painéis fotovoltaicos chega diretamente no laboratório de testes da universidade. A entrada CC deles passa por um sistema de proteção de curto-circuito e sobrecarga, em seguida, essa energia chega ao inversor que a converte em corrente alternada. Após o inversor, o sistema tem mais um sistema de proteção contra curto-circuito e sobrecarga antes de ficar com sua saída disponível em bornes, que foram conectados no disjuntor de produção do painel. O painel no qual o inversor está instalado também apresenta medidores de energia e um disjuntor geral para a alimentação da rede. A Figura 23 mostra o painel acima descrito.

Figura 23 – Sistema fotovoltaico da UGA usado no painel elétrico multifuncional.



Fonte: Imagem captura pelo autor (2019).

Ambas as entradas de alimentação (Figura 25) estão conectadas a um dispositivo da família *Acti 9* da *Schneider Electric*, chamado *PowerTag*, que é um medidor em tempo real de tensão, corrente, potência e energia. Esse sensor, representado pelo modelo A9MEM1522 (Figura 24), é um dispositivo que trabalha com um protocolo de comunicação sem fio e que envia, em tempo real, os dados para o concentrador *Smartlink Ethernet* (BUIATTI et al., 2018).

Figura 24 - Sensor *PowerTag A9EM1522* Fase + Neutro



Fonte: *Schneider Electric* (2016).

Figura 25 – Sensores instalados no painel.



Fonte: Imagem captura pelo autor (2019).

Em sequência das entradas de alimentação, estão conectados os disjuntores principais. Na saída desses está o barramento principal de potência, ele interliga as quatro cargas de saída, a carga não controlável (*Charge non pilotable*) e as cargas controláveis pelo disjuntor controlável *Reflex Ic60* e pelos dois contatores controláveis *Iact24*, representados respectivamente pelas cargas 1, 2 e 3 (*Charge 1, 2 e 3*). Ademais, um disjuntor para seccionar a fonte de alimentação 220 VAC para 24 VCC dos dispositivos foi instalado, os quais são alimentados por tensão contínua, como o *Smartlink*, o *Spacelynk*, o *switch Ethernet* e a interface tátil *Magelis*, a interface visual com os alunos e utilizadores do painel.

Como redundância de dados de medição e para estudos de comunicação *Modbus RTU* via serial RS-485, foi instalado o contador de energia PM3250 da *Schneider Electric*, que também consegue medir a tensão, corrente, potência e energia. Além de ser capaz de mostrar energia ativa, reativa e aparente separadamente; frequência; potência ativa, reativa e aparente; fator de potência e médias de corrente e tensão. O medidor pode ser utilizado de forma trifásica ou monofásica. Quando em forma trifásica, é capaz de indicar também qual fase está mais desbalanceada. Pode-se citar as vantagens do uso do dispositivo sendo (*SCHNEIDER ELECTRIC*, 2014):

- Monitoramento de instalações elétricas, envolvendo diversos parâmetros físicos, além de registro de valores máximos e mínimos lidos em tempo real;
- Alarmes em variações extremas de consumo;
- Monitoramento de consumo;
- Avaliação de custos energéticos;
- Histórico de dados medidos;
- Identificação de harmônicos.

O contador de energia PM3250 suporta 3 entradas de medições, o sistema de medição de corrente funciona como um “*by-pass*” do caminho da corrente com uma resistência insignificante. Como pode ser visto na Figura 21, existem 3 pontos de medição no circuito, representados por S1, S2, S3, S4, S5 e S6, sendo S1 e S2 instalados na carga não controlável; S3 e S4 na carga 1, representada pelo disjuntor controlável à distância *Reflex ic60N*; e S5 e S6 instalados na entrada do disjuntor unipolar, que alimenta a fonte de alimentação 24 VCC. Logo, com essa última medição, torna-se possível calcular o quanto de energia é necessária para controlar e monitorar o sistema como um todo e, conseqüentemente, saber a eficiência do painel elétrico multifuncional.

A ligação elétrica na central de medição PM3250 se baseia numa alimentação fixa para o dispositivo de 220 V em L1 e L2. As entradas V1, V2, V3 e VN são referentes aos pontos de medição do medidor, caso fosse uma alimentação trifásica, as três fases seriam conectadas uma em cada ponto, porém como o projeto era alimentação de forma monofásica, os pontos V2 e V3 foram conectados a V1 para que a leitura de tensão e as demais pudessem ser realizadas pelo dispositivo conforme mostrado na Figura 26.

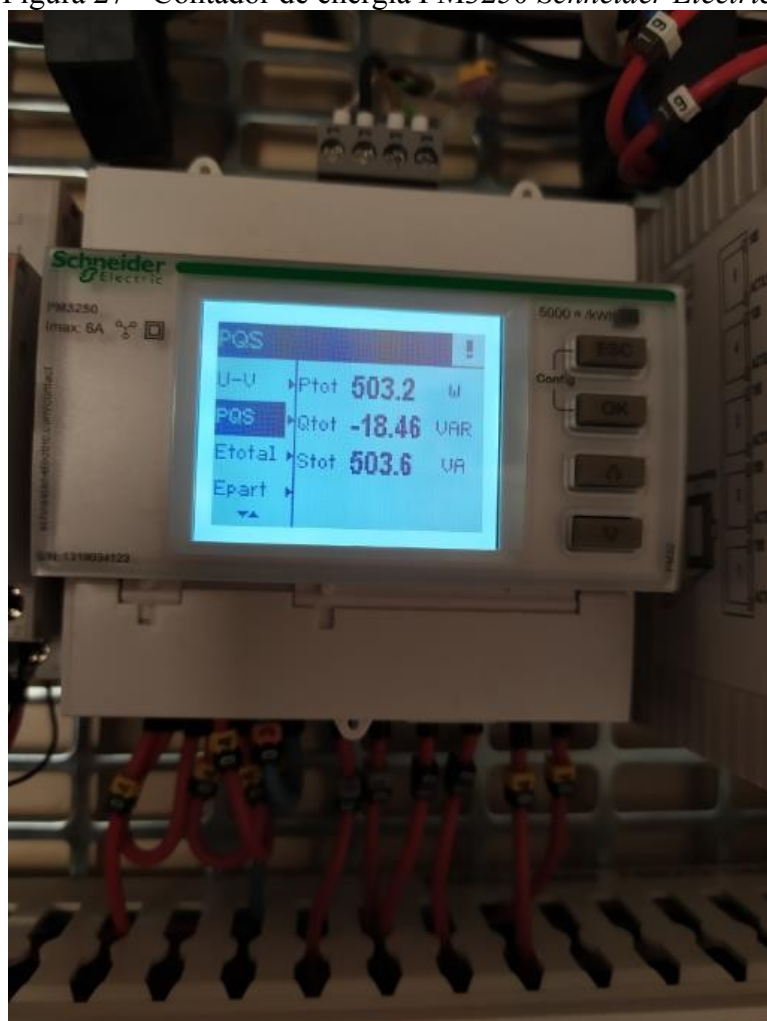
Figura 26 - Ligação elétrica do medidor de energia.



Fonte: Imagem captura pelo autor (2019).

A Figura 27 mostra o dispositivo de medição PM3250 instalado no painel elétrico. Nela, pode-se verificar, na parte superior, a ligação da porta de comunicação *Modbus RTU* via cabo RS-485 e, por meio do *display*, visualizar as variáveis do processo e menus de comando. Uma visão geral das ligações de comando pode ser melhor compreendida por meio do próximo diagrama elétrico.

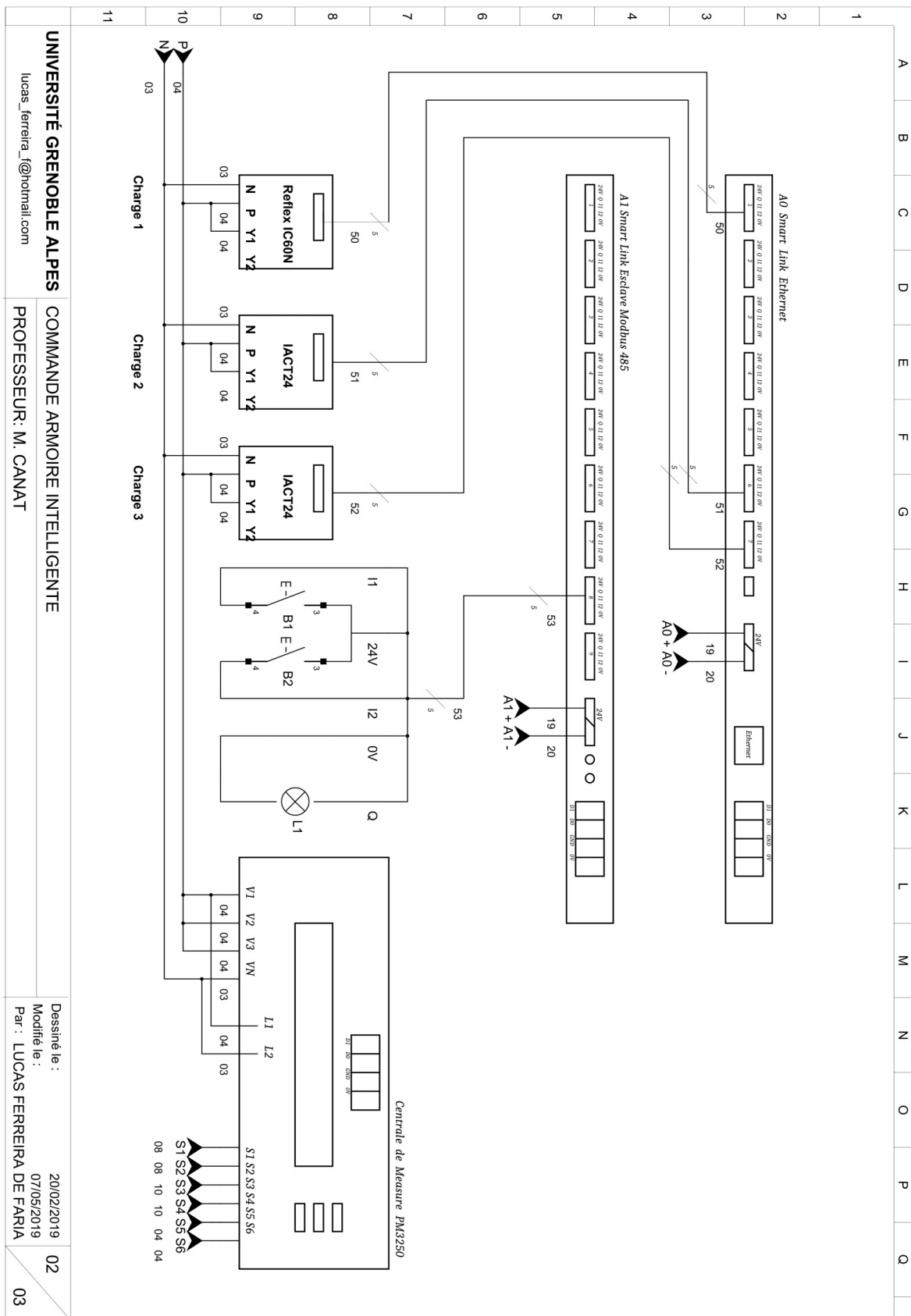
Figura 27 - Contador de energia PM3250 *Schneider Electric*.



Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

A Figura 28 mostra o diagrama elétrico de comando, incluindo as ligações dos chicotes de comunicação Ti24 no disjuntor controlável e nos dois contadores controláveis. As conexões foram feitas nas entradas 1, 6 e 7, as quais foram escolhidas unicamente por estética e pelo comprimento dos chicotes em questão, uma vez que os cabos necessitavam estar escondidos dentro das canaletas. Para comprovar a efetividade da comunicação serial entre o *Smartlink* mestre e o *Smartlink* escravo, foi instalado no escravo um chicote, que teve seu conector Ti24 retirado em uma das extremidades, que simulava pulsos de energia por um botão simples normalmente aberto. Por meio desse botão, era possível simular gastos de energia no supervisor do *Smartlink* via seu endereço IP.

Figura 28 - Diagrama elétrico de comando.

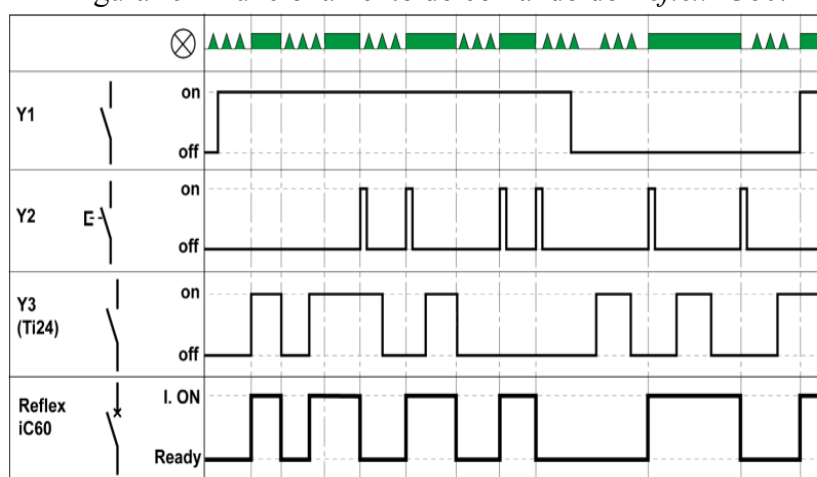


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Na parte inferior do diagrama elétrico de comando, é possível verificar as ligações elétricas nos dispositivos controladores das saídas. Todas elas são alimentados com 220V em seus terminais de alimentação fase e neutro, P e N respectivamente. O terminal Y1 é o terminal de controle que irá habilitar o controle centralizado do *Smartlink* por meio da interface Ti24, logo, ele está constantemente energizado durante o funcionamento do projeto. O terminal Y3 dos dispositivos de atuação está embutido no chicote da interface Ti24, que é o responsável por atuar no disjuntor por meio de bordas de subida ou descida quando solicitado direta ou indiretamente pelo *Smartlink*. Os estados dos dispositivos são enviados por I1. O terminal Y2 não foi utilizado por se tratar de controle local.

Por meio da Figura 29, pode-se entender a forma de funcionamento do comando dos dispositivos de atuação. Em resumo tem-se: de acordo com a *Schneider Electric* (2015), quando Y1 está alimentado, Y3 atua no disjuntor por meio de borda de subida, fechando os contatos do disjuntor, e por meio de borda de descida, abrindo os contatos. Se ocorrer um pulso em Y2, o disjuntor alterna seu estado, independente se no momento ele esteja aberto ou fechado. Quando Y1 está desenergizado, o comando via *Smartlink* é desabilitado e o disjuntor só pode ser acionado via Y2. Caso Y1 seja ligado em um momento no qual Y3 está ativo por meio da interface, o disjuntor acionado fecha seus contatos.

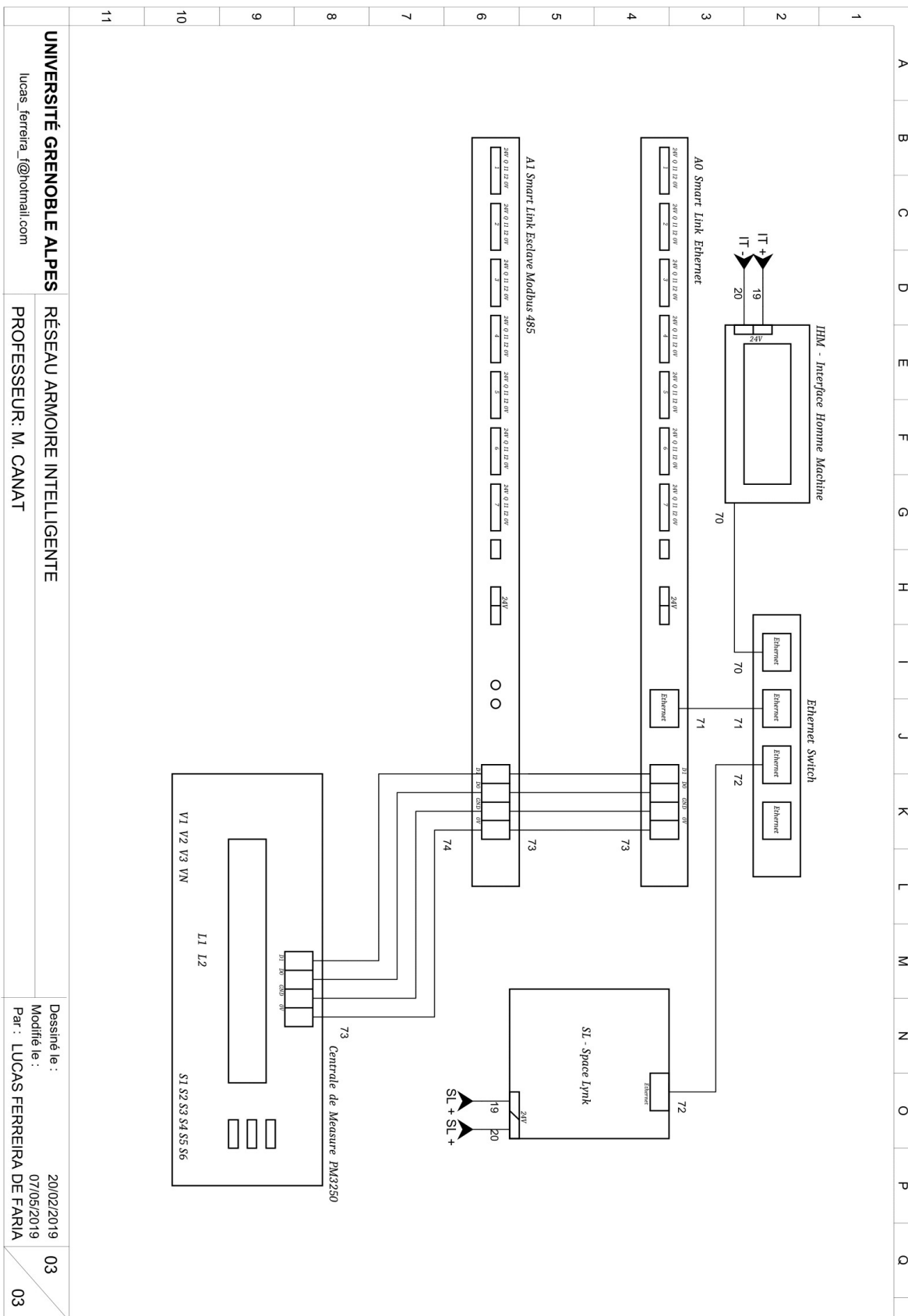
Figura 29 - Funcionamento do comando do *Reflex iC60*.



Fonte: *Reference Manual Reflex ic60 Schneider Electric* (2015, p.37).

Alguns componentes do painel comunicam e trocam informações entre si, portanto, foi criado também um diagrama elétrico de comunicação que representa as ligações entre os controladores do sistema e a interface homem-máquina. Esse diagrama pode ser visualizado na Figura 30.

Figura 30 - Diagrama elétrico de comunicação.



UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES
 lucas_ferreira_f@hotmail.com
 RÉSEAU ARMOIRE INTELLIGENTE
 PROFESSEUR: M. CANAT
 Dessiné le : 20/02/2019
 Modifié le : 07/05/2019
 Par : LUCAS FERREIRA DE FARIA
 03
 03

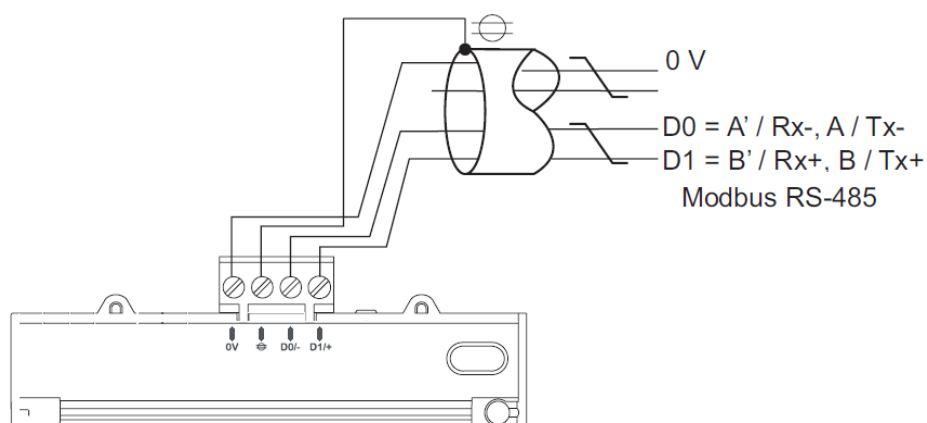
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Este terceiro diagrama mostra as ligações de comunicação que são intermediadas pelo *Switch Ethernet*, em que foram conectados o *Spacelynk*, o *Smartlink Ethernet* e a Interface Homem Máquina, quando se fazia necessário, era utilizada a outra porta do *Switch* para configurações de rede. Os endereços IP de todos os dispositivos foram configurados de forma a atuarem na mesma rede local. Todos os três citados vieram com as configurações de fábrica, logo, foram seguidos os procedimentos via manual de instalação para trocar os IPs deixando todos na mesma faixa 192.168.216.X. Após configurados, *Smartlink* e *Spacelynk* podiam ser verificados digitalmente, em suas páginas da Web, via *browser*; já a interface *Magelis*, por meio da configuração local.

No diagrama de comando da Figura 28, também é possível visualizar a parte de comunicação serial que envolve o *Smartlink SI B Ethernet*, mestre, e os dois escravos da rede, o *Smartlink RTU* e o medidor de energia PM3250. O modo de operação via RS-485 utilizado é o *half-duplex*, via 2 fios, no qual todos os dispositivos podem receber e transmitir informações, mas não ao mesmo tempo. Logo, a transmissão tem sentido bidirecional. Nesse tipo de operação, toda a capacidade do canal é capturada por um dos dois dispositivos que está transmitindo no momento (FOROUZAN, 2010).

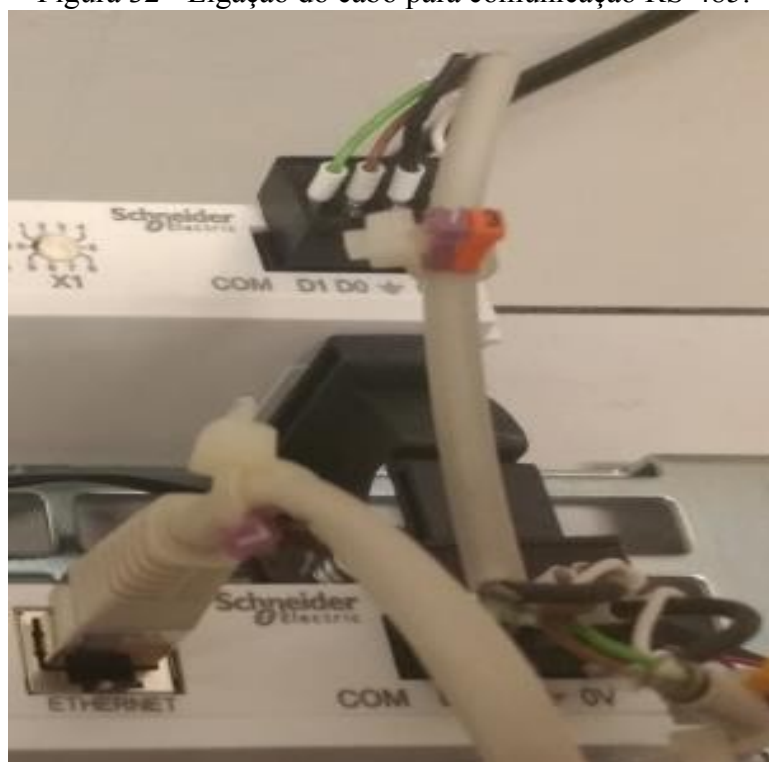
De acordo com a Figura 31 e a Figura 32, observa-se a utilização de 4 fios: os 2 fios principais de comunicação D0 e D1, responsáveis pela troca de informações; um referencial 0 V, que garante o equilíbrio das diferenças de potenciais e evita, no caso de uma descarga elétrica, a queima dos circuitos de comunicação; e, por último, a blindagem do cabo, que deixa o cabo livre de interferências externas, mantendo a integridade do tráfego de informações. A blindagem é realmente necessária quando o cabo RS-485 é instalado próximo a fontes de ruídos elétricos, como chaves eletromagnéticas e condutores de alimentação em corrente alternada, fato que acontece no projeto, uma vez que os cabos se encontram próximos uns dos outros na mesma canaleta de plástico. A continuação do cabeamento de comunicação serial pode ser vista na parte superior da Figura 27, que mostra o medidor de energia PM3250 em funcionamento instalado no painel elétrico didático multifuncional (PERRIN, 1999).

Figura 31 - Comunicação serial via *Modbus* RS-485.



Fonte: Adaptado do Manual do Usuário *Schneider Electric* (2019).

Figura 32 - Ligação do cabo para comunicação RS-485.



Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

Com todos os diagramas dos circuitos elétricos realizados, o processo de execução física do presente projeto iniciou-se pela montagem de trilhos e canaletas para fixação dos componentes eletroeletrônicos e organização dos condutores, respectivamente. A próxima seção trata desse aspecto da montagem do painel elétrico multifuncional.

3.2 Montagem de trilhos e de canaletas

No segmento atual de canaletas aparentes, o uso fica restrito basicamente a dois tipos de produtos: canaletas metálicas e plásticas. As canaletas de plástico possuem perfis de pequenas dimensões, que atendem, na grande maioria, instalações residenciais, industriais e corporativas de pequeno e médio porte, como prédios comerciais, escritórios, instituições de ensino, etc. Em contrapartida, as canaletas metálicas estão presentes basicamente no mercado industrial de grande porte (FLANDOLI, 2017).

“As canaletas devem possuir propriedades que lhes permitam suportar sem danos as influências externas que forem submetidas” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004,p.123).

Segundo Flandoli (2017), as canaletas plásticas ou dutos são fabricados em PVC (Policloreto de Vinila), material que não propaga fogo e não necessita de aterramento externo, uma vez que o PVC é isolante elétrico. O plástico também é inerte a fungos e bactérias, evitando contaminação e oxidação a longo prazo das canaletas, dos cabos e por consequência, de componentes eletroeletrônicos. Os dutos também servem como proteção mecânica para o cabeamento de um painel, evitando que os cabos fiquem soltos e possam vir a prejudicar a visualização e funcionamento do sistema. Com o uso dos dutos, o cabeamento fica escondido por uma tampa de plástico que pode ser retirada e recolocada conforme necessidade sem diminuir a vida útil mecânica da canaleta.

Entre as canaletas de plástico existem, basicamente, 3 tipos básicos: lisas, com recorte aberto e com recorte fechado, esses podem ser visualizados na Figura 33. No projeto em questão, foram utilizadas canaletas plásticas de recorte aberto, uma vez que elas apresentam rasgos laterais que permitem a saída de fios a qualquer ponto da canaleta, de forma a não prejudicar sua vida útil.

Figura 33 - Tipos de canaletas de plástico.



Fonte: Adaptado de 29ª Feira Internacional Da Indústria Elétrica, Eletrônica (2017).

Após a instalação dos dutos de passagem no painel elétrico, iniciou-se o processo de montagem dos trilhos DIN. Os trilhos foram cortados de acordo com a disposição dos componentes e levando em consideração que devido ao fato da instalação acontecer em uma parede em uma altura aproximada de 1,5 m, a interface homem-máquina *Magelis* foi instalada na parte inferior do painel, facilitando aos usuários o monitoramento e controle das cargas e variáveis de processo.

Com os trilhos cortados nos tamanhos necessários, esses foram fixados ao painel por meio de parafusos e porcas e, em seguida, todos os componentes eletrônicos foram devidamente encaixados nos trilhos. A Figura 34 abaixo permite observar os trilhos já instalados, canaletas cortadas e instaladas assim como componentes eletrônicos em seus devidos lugares:

Figura 34 – Instalação de canaletas e trilhos.



Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

Os bornes inicialmente utilizados no projeto, identificados na parte superior esquerda da Figura 34, foram alterados por bornes fêmeas de conexão rápida, porque não respondiam aos fins didáticos propostos, sendo sempre necessária a utilização de ferramentas para alocar os condutores neles. Esses novos terminais fizeram com que os testes fossem realizados de forma mais rápida e segura, uma vez que haviam diversos cabos prontos com conectores machos que se conectavam diretamente nestes. Os bornes definitivos, em preto e vermelho, instalados no projeto podem ser vistos na Figura 35.

Figura 35 – Bornes de conexão rápida.



Fonte: Imagem capturado pelo autor (2019).

Com todos os trilhos DIN e canaletas de plásticos instaladas no painel elétrico, a próxima etapa para execução do presente projeto é a de cabeamento e conectores elétricos. O tópico seguinte também abordará a etapa de dimensionamento dos condutores elétricos.

3.3 Cabeamento e conectores

O cabeamento foi realizado de forma a respeitar a ABNT NBR 5410, que é a norma brasileira para instalações elétricas de baixa tensão e também está de acordo com a norma francesa NF C 15-100, sendo a brasileira derivada da francesa. Primeiramente, definiu-se a corrente máxima dos componentes a serem utilizados no processo de acordo com as demandas no contexto. Em seguida, a partir desses parâmetros de corrente, foram verificadas as bitolas dos condutores elétricos.

Segundo Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004), o cálculo da seção de condutores deve respeitar os três parâmetros a seguir, sempre adotando o parâmetro que fornece a maior bitola em seção de mm²: limites mínimos impostos para a aplicação, limite de condução de corrente e limite de queda de tensão.

Os métodos de referência, para os quais a capacidade de condução de corrente foi determinada por ensaio ou por cálculo, são (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004):

- A1: Condutores isolados em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante;
- A2: Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante;
- B1: Condutores isolados em eletroduto de seção circular sobre parede de madeira;
- B2: Cabo multipolar em eletroduto de seção circular sobre parede de madeira;
- C: Cabos unipolares ou cabo multipolar sobre paredes de madeira;
- D: Cabo multipolar em eletroduto enterrado no solo;
- E: Cabo multipolar ao ar livre;
- F: Cabos unipolares justapostos ao ar livre;
- G: Cabos unipolares espaçados ao ar livre.

Conforme a seção anterior, foram utilizadas canaletas de plástico com recorte em aberto, dessa maneira, por meio da Figura 36, foi verificado em qual tipo de linha elétrica esse tipo de instalação se encontra e, conseqüentemente, foi inferido o método de referência B1, uma vez que os condutores unipolares utilizados estão dentro de canaletas (eletroduto de seção não-circular) fixadas na parede. Observa-se que a norma contempla um eletroduto fechado e que foram empregadas canaletas arejadas as quais são abertas à passagem do ar, ajudando na refrigeração dos cabos e, por essa razão, evitando o superaquecimento por sobrecarga.

Figura 36 - Tipos de linhas elétricas.

3		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B1
4		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B2
5		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede	B1
6		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede	B2

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5410 (2004,p.90).

A Figura 37 adaptada e mostrada em sequência, indica a corrente máxima suportada por um condutor de cobre, com isolamento de PVC em regime permanente (fator de carga 100%), em corrente contínua ou em corrente alternada com frequência de 50 Hz ou 60 Hz (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Figura 37 - Capacidade de condução de corrente, em ampères.

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela							
	A1		A2		B1		B2	
	Número de condutores carregados							
	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Cobre								
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10
1	11	10	11	10	14	12	13	12
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20
4	26	24	25	23	32	28	30	27
6	34	31	32	29	41	36	38	34
10	46	42	43	39	57	50	52	46

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5410 (2004,p.101).

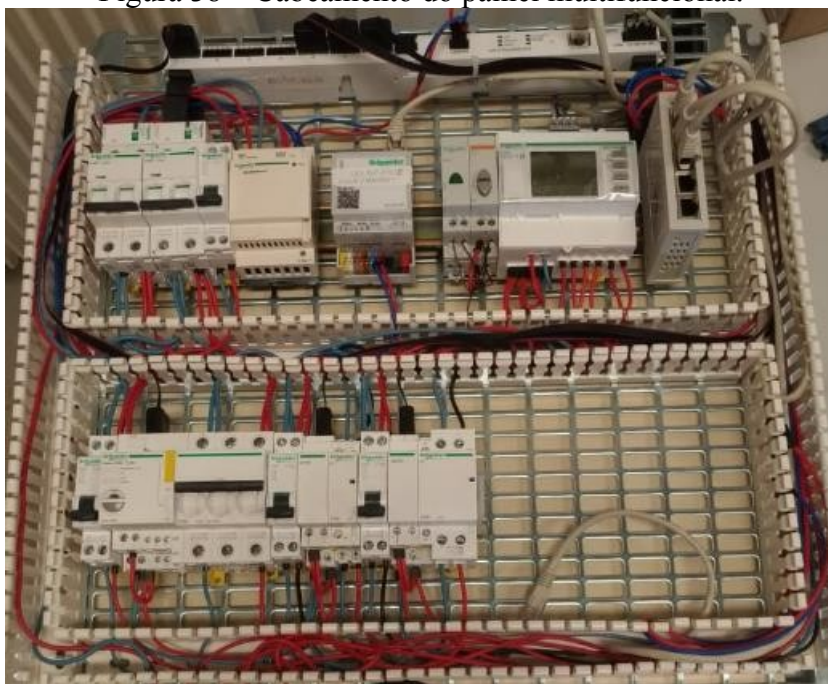
Verifica-se pela figura que um condutor de 2,5 mm² pode suportar até 24 A e um de 4mm,² até 32 A. De acordo com a Figura 21, o barramento principal de distribuição tem um disjuntor de 32 A, logo, para esse barramento, foi utilizado um cabo de 4 mm². Em contrapartida, para o resto dos circuitos de saída para as cargas controláveis 1, 2 e 3 e para a

saída da carga não controlável, foram empregados condutores elétricos de 2,5 mm² que suportam a corrente das cargas, uma vez que os disjuntores são de 10 A. Respeitando também a primeira norma para dimensionamento dos cabos: limites mínimos impostos para a aplicação, que, para circuitos de força, segundo a Associação Brasileira De Normas Técnicas (2004), é de 2,5 mm².

O parâmetro da queda de tensão está relacionado ao fato de que os condutores apresentam uma resistência elétrica proporcional ao seu comprimento e inversamente proporcional à sua seção transversal. Por esse motivo, quando se circula uma corrente elétrica por uma resistência, existe uma dissipação de energia em forma de calor e, conseqüentemente, uma queda de tensão no condutor (COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS, 2003). Esse último parâmetro foi verificado localmente por meio de medições com multímetro e, devido à distância ser insignificante, esse parâmetro foi desconsiderado.

Para o circuito de comando e de comunicação, Figura 28 e Figura 30 respectivamente, foram utilizados cabos de 1,5 mm² em razão da corrente ser muito baixa. Essa corrente é menor que 1 A, uma vez que esses cabos estão apenas alimentando os componentes elétricos de baixa potência em 24 VCC: *Smartlink Ethernet* e *Smartlink Modbus* Escravo, *Spacelynk*, *Switch Ethernet*, Interface Homem Máquina *Magelis*. A Figura 38 mostra o painel já com a parte do cabeamento finalizada.

Figura 38 – Cabeamento do painel multifuncional.



Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

As conexões de condutores entre si e com outros componentes da instalação de conexão parafusada devem garantir uma continuidade elétrica estável durável, adequada suportabilidade mecânica e adequada proteção mecânica. Para a seleção do terminal adequado, deve ser considerado, principalmente, o material e a isolação dos condutores, a seção dos condutores e o número de condutores a serem conectados conjuntamente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Para a execução do projeto, foram empregados terminais elétricos do tipo tubular longo (Figura 39). Todos foram prensados com uma ferramenta adequada que pode ser visualizada no canto inferior esquerdo da Figura 34, respeitando a norma que expõe: “As conexões prensadas devem ser realizadas por meio de ferramentas adequadas ao tipo e tamanho do conector utilizado” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p.117).

Figura 39 – Terminais elétricos do tipo tubular longo.



Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

Com todos os componentes fixados e cabeados, todos esses estão prontos do ponto de vista elétrico para testes e utilização. Todavia, os controladores do sistema precisam de certas configurações e ajustes antes de serem colocados em pleno funcionamento. A próxima seção descreve tais configurações e ajustes.

3.4 Configuração do *Smartlink Ethernet* para controle remoto e monitoramento

Conforme visto na seção 3.1, a configuração do *Smartlink Ethernet* começa pela configuração da rede, alterando o endereço IP de fábrica para um endereço da rede local. Após esse processo, são identificados os dispositivos wireless, analógicos, via *Modbus* e digitais conectados ao painel.

Com os sensores *Powertags* conectados ao painel, é necessário fazer o reconhecimento destes por meio da função *Auto Discovery* para dispositivos sem-fio. Essa função analisa os arredores do concentrador para procurar dispositivos *wireless* suportados pelo *Smartlink*. No caso do projeto, foram encontrados os dois sensores *PowerTag*. Após a descoberta, o próprio controlador já indica o endereço *Modbus* que é importante para a recuperação de dados para a IHM (seção 3.6.1). Também é possível alterar o nome fictício para o sensor (*Asset Name*), assim como associar algum tipo de uso (*Usage*). O botão “*Locate*” tem como função fazer com que o sensor pisque ininterruptamente como forma de localização deste no painel. Essa função foi usada para identificar o tipo de cada sensor: produção ou consumo.

Para os dispositivos analógicos, não existe uma procura automática. Assim sendo, é necessário adicionar o produto de forma manual, como, por exemplo, sensores de 4-20 mA ou sensores de 0-10 V. Para os dispositivos digitais, também não existe uma função de procura automática, portanto, essa parte deve ser realizada manualmente. Para tanto, é preciso definir o nome fictício (*Asset Name*), como por exemplo Carga 1, 2 ou 3 (*Charge*), o uso dele, além do tipo de produto (*Product*), como, por exemplo, *Reflex ic60*, *iACT24* e outros produtos *Schneider*. Por fim, o mais importante: o número do canal ao qual o dispositivo está conectado por meio da interface *Ti24* também é definido. A Figura 40 mostra a configuração dos dispositivos digitais utilizados no painel elétrico.

Figura 40 – Configuração para dispositivos digitais.

The screenshot shows the 'DIGITAL DEVICE CONFIGURATION' interface. On the left, there are navigation tabs for 'DIGITAL DEVICES', 'ANALOG DEVICES', 'MODBUS DEVICES', and 'WIRELESS DEVICES'. The main area displays a table of configured devices and an 'ADD DEVICE' form.

Channel	Asset Name	Usage	Product	Label	Monitor	
1	Charge1	Lighting	ReflexIC60		✓	✎ ☰
6	Charge2	Lighting	iACT24		✓	✎ ☰
7	Charge3	Lighting	iACT24		✓	✎ ☰

Below the table is an 'ADD DEVICE' form with the following fields:





- Asset Name:
- Label:
- Usage:
- Product:
- Channel:
- Monitor:

At the bottom right, there are buttons for 'Apply Changes' and 'Cancel Changes', along with a note '* Required field'.

Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

Os dispositivos *Modbus* apresentam um modo automático para procura. Conforme visto na Figura 30, o *Smartlink Ethernet* comunica-se por *Modbus* RTU serial via RS-485 com o *Smartlink Modbus* escravo e com o medidor de energia *Schneider*. Dessa forma, ao fazer a procura automática, foram encontrados esses dois dispositivos, como esperado. No *Smartlink* escravo, foi conectado no canal digital 8 uma interface Ti24, que foi adaptada em um botão e em um sinalizador. O primeiro tem como finalidade simular pulsos de energia e garantir o correto funcionamento da comunicação em tempo real entre o escravo, o mestre e os dispositivos de campo. A Figura 41 mostra a janela de configuração acima descrita.

Figura 41 – Configuração para dispositivos *Modbus*.

Name	Usage	Product	Address	Label	
Compteur d'Energie	Other	PM3250	1		Digital Devices  
Smartlink Modbus 2		Smartlink RS485	2		Digital Devices  

Address Min: *

Address Max: *

* Required field

Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

Outra funcionalidade do controlador *Smartlink* é a criação de alarmes automáticos. O dispositivo apresenta uma lista de alarmes genéricos que envolvem, por exemplo, a perda de comunicação ou a queda de tensão do sistema. Há também a possibilidade da criação de alarmes específicos, envolvendo variáveis monitoradas pelo próprio sistema. Observa-se que o medidor de energia mede diversas variáveis em tempo real como corrente, tensão, energia, potência, entre outras. Pode-se, então, criar um alarme, que a título de exemplo, atue caso a corrente I1, que é a corrente que circula pela carga não controlável, seja maior, menor, ou igual a um valor escolhido pelo usuário.

Caso essa condição venha a ocorrer, um correio eletrônico será enviado automaticamente para um ou mais endereços escolhidos pelo autor com uma mensagem padrão que contém o dispositivo no qual o alarme ocorreu, o evento, a data, o horário e um texto padrão que pode ser escolhido pelo usuário, contendo informações sobre: curto-circuito,

sobrecarga, entre outros. Esse tipo de funcionalidade é bastante útil para otimizar o monitoramento do painel elétrico, uma vez que o professor ou responsável poderá saber em tempo real o que está acontecendo com as variáveis do processo, podendo intervir, o mais rápido possível, quando necessário; além de ter um histórico das falhas que podem ocorrer durante as disciplinas. A Figura 42 ilustra a página de interface do *Smartlink* para configuração de alarmes específicos, mostrando todas as configurações acima descritas envolvendo a criação de alarmes.

Figura 42 – Configuração de alarmes específicos.

The screenshot displays the 'Specific Alarms' configuration page. At the top, there is a dropdown menu for 'Asset Name | Usage | Product | Label' showing 'Compteur dEnergie | Other | PM3250 | ----'. Below this, the configuration is divided into four sections: 'Alarm When...' (Current I1), '...IS...' (>=), 'Threshold' (10 A), and '...Then Send E-Mail To' (admin@example.com, guest@example.com). The 'Subject' field is pre-filled with 'Current I1 >= 10 A occurred on Compteur dEnergie'. The 'Message' box contains the following information: 'Connected Device: PM3250, Compteur dEnergie', 'Event: 10 A', 'Event Generated On: 2019-06-18 TIME: 14:32:10', 'DATE: (year-month-day)', and 'Custom Text: Overcharge'.

Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

Com todas as configurações realizadas no *Smartlink*, é possível, então, controlar e monitorar o estado de todas as cargas do processo de forma remota por meio da interface via navegador de internet (Figura 43). Para atuar nas cargas, basta clicar em *Open* ou *Close*, para abrir ou fechar, respectivamente, os contatos do dispositivo em questão, seja ele, a carga 1, equipada com o disjuntor controlável ReflexIc60, ou pelas cargas 2 e 3, equipadas com o contator controlável iACTt24. O monitoramento pode ser visto na aba *Status*, na qual tem-se *Closed* ou *Open*, ou seja, fechado e aberto.

Figura 43 – Controle remoto e monitoramento via *Smartlink Ethernet*.

Asset Name	Usage	Product	Gateway	Status	Control
+ Charge1	Lighting	ReflexiC60	SmartlinkEthernet	Closed	Open Close
+ Charge2	Lighting	iACT24	SmartlinkEthernet	Closed	Open Close
+ Charge3	Lighting	iACT24	SmartlinkEthernet	Open	Open Close

Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

Após todos os trilhos DIN, canaletas plásticas, condutores elétricos, componentes eletroeletrônicos instalados e configurados, para a finalização completa da montagem falta o projeto do suporte metálico da interface homem-máquina que será explicado na próxima seção.

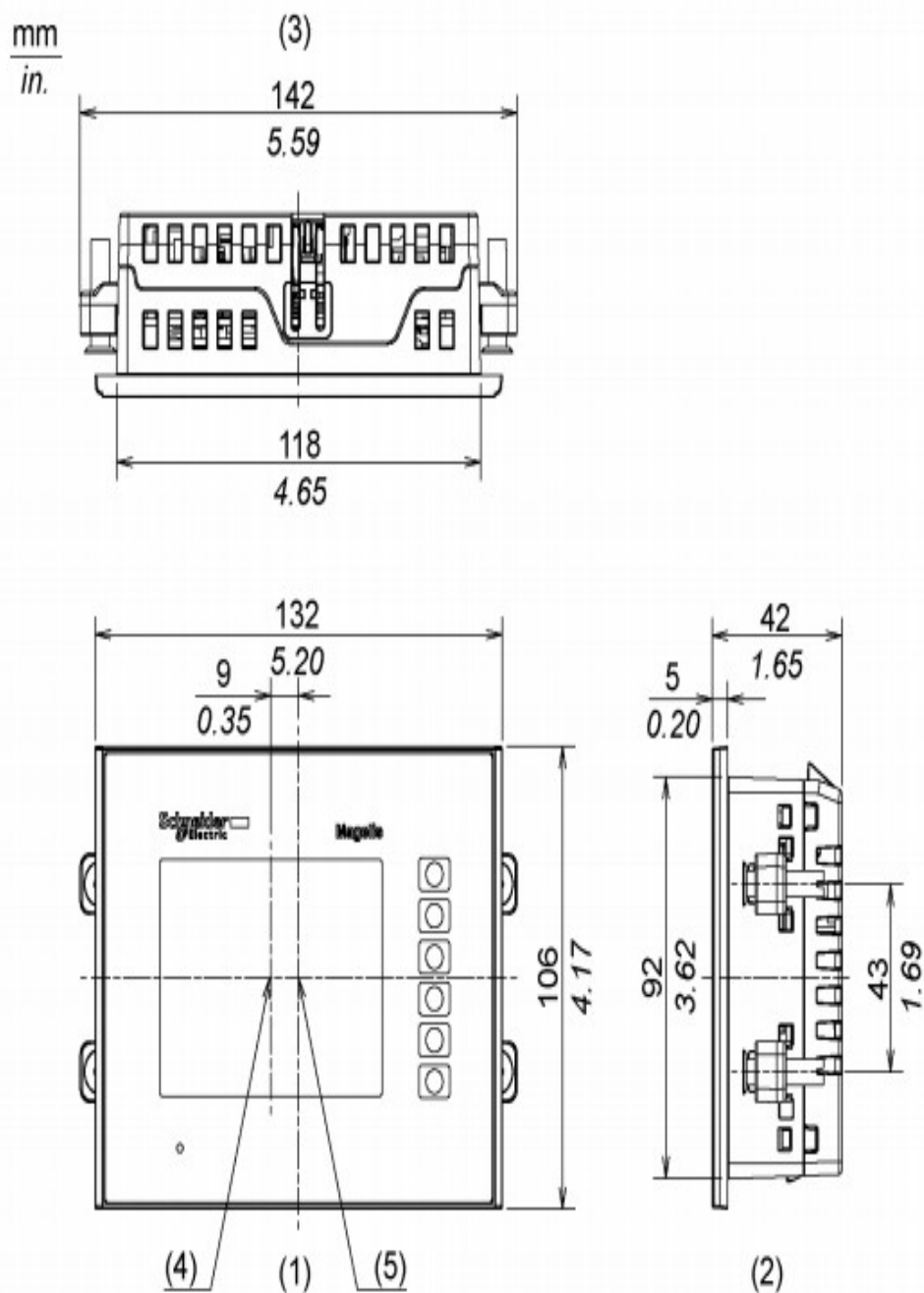
3.5 Projeto e instalação de suporte para a interface *Magelis*

A interface homem máquina *Magelis* da *Schneider*, apesar de disponibilizar diversas funções de fácil programação via software, é adquirida sem suporte físico incluso para instalação em painéis elétricos. O manual do usuário apenas apresenta informações de como instalar e precauções de instalação e operação, tais como: a temperatura de trabalho deve estar compreendida entre 0 e 50 °C e o ângulo de instalação deve estar compreendido entre -30° e 30° (*ELECTRIC*, 2016).

De acordo com as dimensões do produto, foi então projetado um suporte para a interface que pudesse, ao mesmo tempo, suprir as necessidades dimensionais do painel elétrico e manter a fixação da interface de forma a suportar esforços mecânicos e movimentações do painel elétrico. As dimensões podem ser visualizadas na Figura 44.

O projeto do suporte, ilustrado na Figura 45, foi realizado pelo autor e a execução do projeto em chapa metálica foi de responsabilidade de um técnico em mecânica da *Université Grenoble Alpes*. O *layout* foi feito por meio do *software* AutoCad.

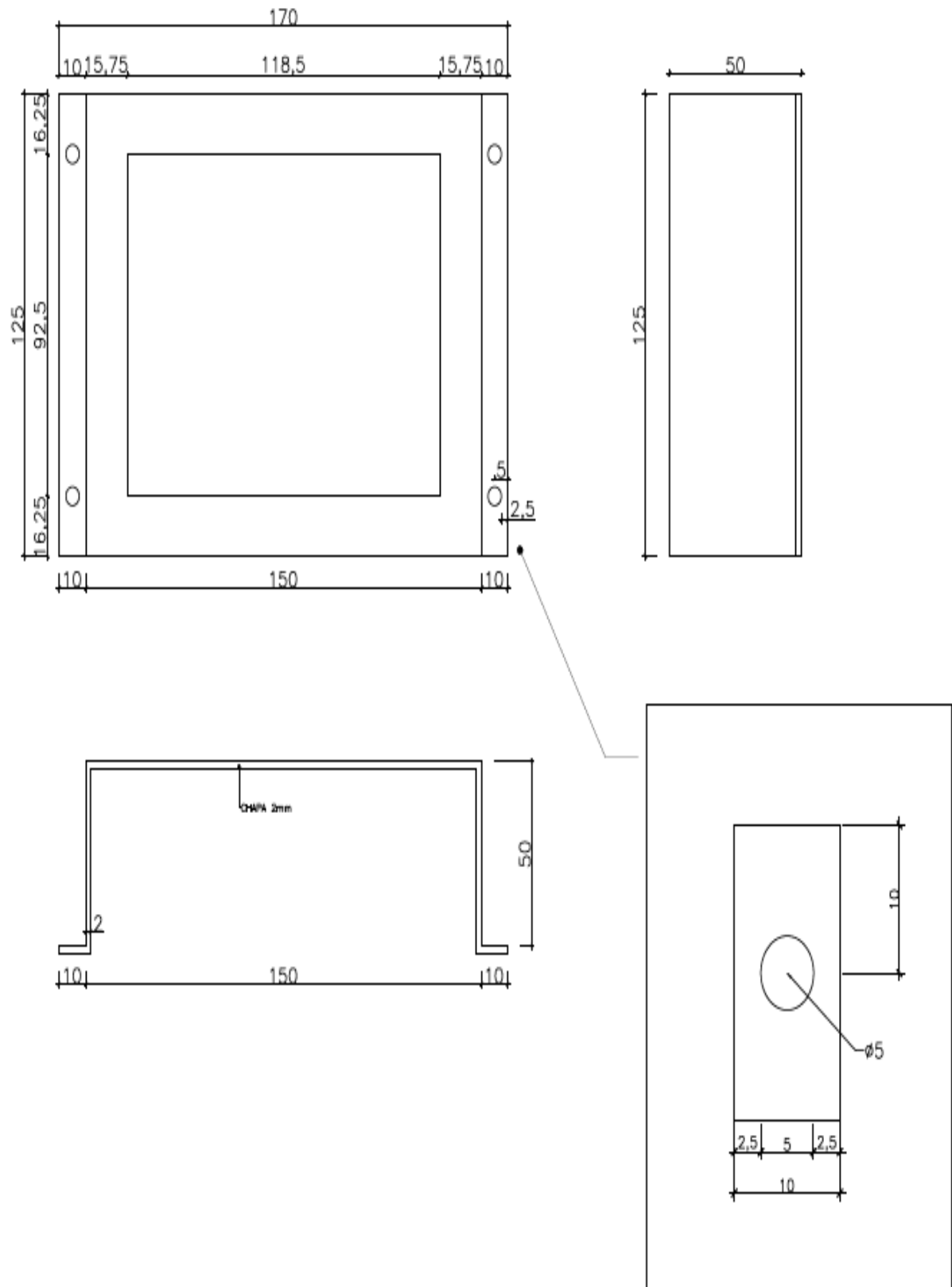
Figura 44 – Dimensões da interface *Magelis* GTO1310.



- 1 Frente
- 2 Lado direito
- 3 Topo
- 4 Mostrar o centro da área
- 5 Centro do produto

Fonte: *Schneider Electric* (2016).

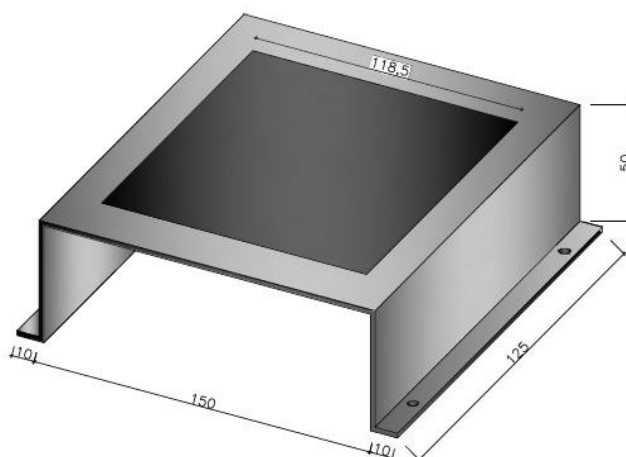
Figura 45 – Projeto do suporte para a interface homem-máquina.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Também foi realizado, ainda por meio do AutoCad, um desenho 3D do suporte para a interface homem-máquina para que ficasse mais fácil ao técnico da universidade sua execução, assim como para a reprodução da comunidade. O desenho pode ser encontrado na Figura 46.

Figura 46 – Projeto 3D do suporte para a IHM.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Após a produção do suporte, a interface homem-máquina foi acoplada ao suporte por meio dos parafusos da interface que puderam ser visualizados na Figura 44. Com a IHM conectada ao suporte, ambos foram fixados no painel elétrico com parafusos e porcas que podem ser vistos na Figura 47. Posteriormente à fixação, a ligação elétrica do monitor foi feita e, em sequência, a sua programação que será explicada na próxima seção.

Figura 47 – Suporte para IHM.



Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

3.6 Programação da interface homem-máquina

A presente seção tem como objetivo explicar as principais características que envolvem a recuperação de dados e monitoramento e a programação da interface homem-máquina para o controle de cargas.

3.6.1 Recuperação de dados e monitoramento

O monitor *touch screen* empregado, modelo GTO1310, tem resolução de 320 x 240 pixels com uma tela de 3,5 polegadas e apresenta 6 botões laterais que podem ser programados, via *Vijeo Designer*, de acordo com a aplicação do usuário (*ELECTRIC*, 2016). De acordo com a *Schneider Electric* (2010), *Vijeo Designer* é um *software* de ponta que permite a realização de telas de operação, além da configuração de parâmetros operacionais periféricos de interfaces homem-máquina. O *Vijeo* fornece todas as ferramentas necessárias, desde a concepção de um projeto via IHM com recuperação de dados, até a criação e visualização de telas sinóticas animadas (*SCHNEIDER ELECTRIC*, 2010).

Para fazer a conexão entre o software e a rede local na qual se encontra o *Smartlink*, o *Spacelynk* e a IHM, é necessário, por meio do software *Vijeo*, adicionar e configurar um novo equipamento com um endereço de IP definido e o endereço *Modbus*. O endereço *Modbus* pode ser encontrado nos manuais dos respectivos fabricantes.

O software citado acima utiliza dois tipos de dados: dados internos criados na aplicação do usuário ou dados externos fornecidos por periféricos externos como CLP's, inversores e concentradores de informação, como o *Smartlink Ethernet* (*SCHNEIDER ELECTRIC*, 2010). Para os dados externos, o formato da variável é muito importante, uma vez que ele deve ser o mesmo no transmissor (*Smartlink*, por exemplo) e no receptor (*Vijeo*). O programa em questão trabalha com alguns tipos de variáveis, entre eles, reais, booleanas, inteiras de 16 e 32 bits com sinal (*signed*) e sem sinal (*unsigned*), *strings* entre outros.

Para a recuperação de dados do medidor de energia e dos *PowerTags*, que são os sensores da entrada de produção e consumo vistos na Figura 25 foi necessária a verificação manual dos endereços *Modbus* para as leituras de tensão, corrente, potência, energia e fator de potência. Esse mesmo procedimento foi realizado para a recuperação de dados do inversor DC/AC. O Quadro 3 mostra os endereços *Modbus* para a corrente elétrica, onde, da esquerda

pra direita, tem-se: o endereço, o número de registradores de 16 bits necessários para escrever/ler a informação, RW (*Read and Write*) define se o endereço é apenas leitura (R) ou escrita (W), X é um fator de escala para a variável, a unidade da variável, valor padrão para a variável, Svd representa se a memória é volátil ou não, nesse caso, N, o valor armazenado é perdido na ocorrência de uma falha de energia elétrica, o código da função que pode ser utilizado no registrador e a descrição do registrador, em tais casos, a corrente elétrica na fase A, B ou C.

Quadro 3 – Endereços *Modbus* PowerTag para corrente elétrica.

Address	No.	RW	X	Unit	Type	Range	Default Value	Svd	Function Code	Description
Current - Metering Data										
2999	2	R	-	A	Float32	-	0xFFC00000	N	03, 100-4	RMS Current on phase A.
3001	2	R	-	A	Float32	-	0xFFC00000	N	03, 100-4	RMS Current on phase B.
3003	2	R	-	A	Float32	-	0xFFC00000	N	03, 100-4	RMS Current on phase C.

Fonte: Adaptado do manual do usuário da *Schneider Electric* (2019, p.68).

Para a criação das variáveis no *Vijeo Designer* é necessário adicionar o endereço *Modbus* para as variáveis externas, assim como o tipo de variável para a corrente, potência e tensão, o tipo utilizado é o *Float32*. Toda variável criada no software precisa de um *off-set* unitário em seu endereço.

A criação de telas e botões foi uma etapa essencial no processo de criação do sistema de supervisão e controle do painel elétrico, uma vez que é por meio deles que o usuário poderá visualizar todas as informações do painel em tempo real, assim como controlá-lo conforme necessidade. Ao adicionar uma tela, pode-se inserir botões interativos, gráficos, indicadores de valores, indicadores luminosos, imagens e texto. Na criação de botões interativos, diversos parâmetros podem ser alterados, como formato do botão, cor, texto em segundo plano, visibilidade, além de parâmetros avançados para controle de dados que podem atuar em alguma saída por meio de operadores matemáticos e/ou lógicos, criando, então, uma lógica de controle para o sistema. A Figura 48 ilustra algumas telas de monitoramento, indicações e controle do painel elétrico multifuncional em fase de criação e edição por meio do *software Vijeo Designer*.

Figura 48 – Criação de telas para o painel.



Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

Um botão pode realizar diversas funções definidas pelo usuário. No projeto em questão, botões para mudança de telas e botões para o controle manual das cargas de saída do painel elétrico foram utilizados, nesse último, uma variável deve ser conectada ao botão; em contrapartida, os indicadores numéricos precisam obrigatoriamente de uma variável para apontar. Nos indicadores também pode ser alterado o estilo do mostrador, o tipo de dado, seja ele inteiro ou decimal e o formato da variável (casas decimais automáticas ou manuais). Quando manuais, é necessário escolher a quantidade de casas decimais que serão mostradas. Do mesmo modo, pode ser editado o tipo de fonte, o tamanho, alinhamento e a unidade do mostrador em questão.

A Figura 49 permite a visualização da primeira página de supervisão criada pelo autor, na qual os dados básicos são apresentados e um botão de inicializar pode ser visto no canto

superior direito da tela, o qual, ao ser pressionado, leva o usuário a um menu secundário de opções para monitoramento e controle.

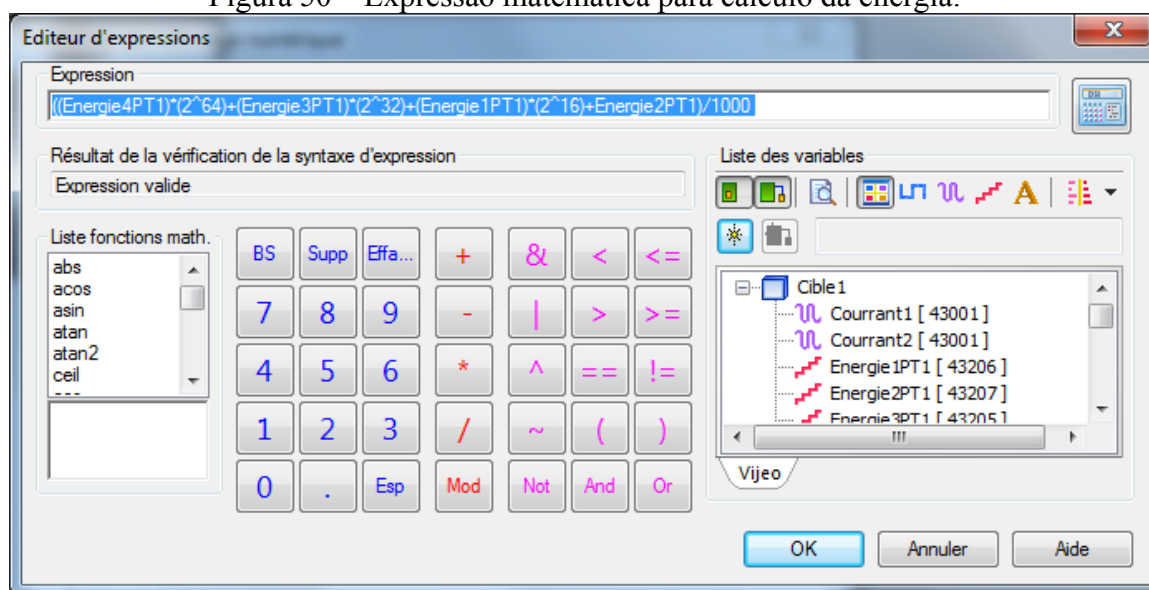
Figura 49 – Tela inicial da IHM do painel.



Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

A medição de energia é feita pelos sensores *wireless PowerTag*, porém, diferentemente das outras variáveis, a energia é composta por 4 registradores. Portanto, foi necessário uma operação algébrica, em ambas as entradas do painel, para ser possível recuperar esse valor no *Smartlink* e mostrá-lo na IHM. O montante final da operação foi dividido por 1000 porque o sensor fornece o valor de energia em kWh e, para fins didáticos e como a energia acumulada era pequena, foi decidido utilizar o valor em Wh. A Figura 50 mostra a expressão numérica realizada e apresenta a janela de interface do *Vijeo* para a edição delas. Observa-se, na imagem, na parte lateral direita, a lista de variáveis do sistema envolvidas com o monitoramento e o controle de cargas local e, na parte lateral esquerda, a presença da possibilidade da adição de diversas funções lógicas e algébricas.

Figura 50 – Expressão matemática para cálculo da energia.



Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

3.6.2 Controle de cargas

Para fazer o controle de cargas, ou seja, o controle do disjuntor controlável ReflexIC60, e dos dois contadores IACT24, é necessário o endereço *Modbus* para efetuar a comunicação. Esse endereço pode ser encontrado nos manuais do fabricante *Schneider*. O chicote da interface Ti24, que é conectado nos dispositivos controláveis, conforme mencionado anteriormente, é conectado também no *Smartlink Ethernet* em uma de suas 7 entradas. O número da entrada é importante uma vez que é necessário selecionar qual bit booleano será atuado (escrito) de acordo com o número do canal.

Os dispositivos da família Acti9 da *Schneider*, além de possuírem esse controle remoto programável, também fornecem ao usuário diversos dados numéricos de seus componentes, como, por exemplo, a quantidade de vezes que o disjuntor foi comutado, o tempo total de operação e a quantidade de vezes que houve uma atuação por sobrecarga ou curto-circuito. Esses dados podem ser recuperados via entradas 1 e 2 (*input 1* e *input 2*) pelo chicote Ti24. A Figura 51 mostra os endereços *Modbus* necessários para a recuperação dos dados numéricos de operação do disjuntor e contadores controláveis em função do canal onde ele está instalado. O disjuntor controlável Reflexic60, carga 1, foi instalado no canal 1, os dois contadores controláveis, respectivamente, cargas 2 e 3, foram instalados nos canais 6 e 7. As escolhas dos

canais foram feitas pelo autor de forma a otimizar o painel no quesito comprimento dos cabos e organização do painel elétrico.

Figura 51 – Tabela de dados para recuperação de contadores de disjuntores e contadores controláveis.

Operation Counters

	Channels						
	1	2	3	4	5	6	7
Input I1	14100	14102	14104	14106	14108	14110	14112
Input I2	14122	14124	14126	14128	14130	14132	14134

Fonte: Adaptado de *Schneider Electric* (2019).

Para executar a manobra dos dispositivos de saída, também é necessário verificar no manual o endereço *Modbus* correspondente, assim como levar em consideração o canal onde esse está instalado. Uma vez que, segundo o manual do usuário do *Smartlink* da *Schneider Electric* (2016), o endereço *Modbus* é o mesmo para todos os canais, 130 para aberturas e 131 para fechamentos de contato, portanto, o que diferencia cada dispositivo é o canal de instalação, sendo esse representado pelo bit de 0 a 7, como, por exemplo, 130,00 para o canal 1 e 130,06 para o canal 7. Com esse tipo de comando, pode-se, então, fechar ou abrir o disjuntor ou um dos contadores. Portanto, por meio de um botão na interface acoplada ao endereço, é possível controlar os dispositivos de forma local por meio de um clique na tela da interface homem-máquina *Magelis*.

Ademais, é possível recuperar o *status* atual dos contadores e do disjuntor. Com esse tipo de indicação, ativado ou desativado, é possível habilitar em sinalizadores no *Vijeo Designer* indicações visuais do processo para o usuário, mostrando-lhe se o disjuntor está fechado ou aberto. A Figura 52 resume todo o processo para controle, com dois botões para atuação no contador, um botão verde para acionar e um botão vermelho para desligar. Ao pressionar algum desses botões, por meio do endereço, um comando é enviado diretamente para o *Smartlink Ethernet*, o qual, na sequência, por meio da interface Ti24, envia o comando de atuação para o dispositivo.

Figura 52 – Interface para controle da carga 3.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Também é plausível observar um mostrador (*En fonctionnement*) de funcionamento que ficará verde quando a carga estiver acionada e que ficará vermelho quando a carga estiver inativa com a mensagem de desligado (*éteint*). Existem similarmente, três caixas indicadoras com dados de operação da carga 3: ciclos de funcionamento (*cycles*), ou seja, quantas vezes o contator foi operado localmente ou remotamente; atuação (*déclenchement*), que indica vezes ele foi atuado involuntariamente por uma ausência de tensão, por exemplo, ou curto-circuito, no caso do disjuntor controlável; e horas de operação (*heures*) do dispositivo. Além disso, é possível encontrar na interface um botão de troca de telas no canto superior esquerdo em forma de flecha. O *layout* da interface para a carga 2 é idêntico à carga 3, mostrado na Figura 52.

A carga controlável 1 composta pelo disjuntor controlável Reflexic60 apresenta um *layout* de interface mais completo, uma vez que ela possui, conforme visto na Figura 21 do diagrama elétrico de potência, uma passagem pelo medidor de energia da *Schneider* PM3250. Conseqüentemente, para essa carga, além de todos os dados inerentes à tecnologia *Schneider*, também existem variáveis elétricas recuperadas do medidor via endereços *Modbus*. A Figura 53 ilustra a interface com as mesmas características descritas acima com a adição das variáveis elétricas em tempo real: tensão (*tension*), corrente (*current*) e potência (*puissance*).

Figura 53 – Interface para controle da carga 1.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Com todos os testes realizados na interface homem-máquina, a finalização de identificação do painel foi então realizada, uma vez que nenhuma modificação era mais necessária em cabamentos ou componentes. A próxima seção tratará da identificação dos cabos elétricos e canaletas de plástico.

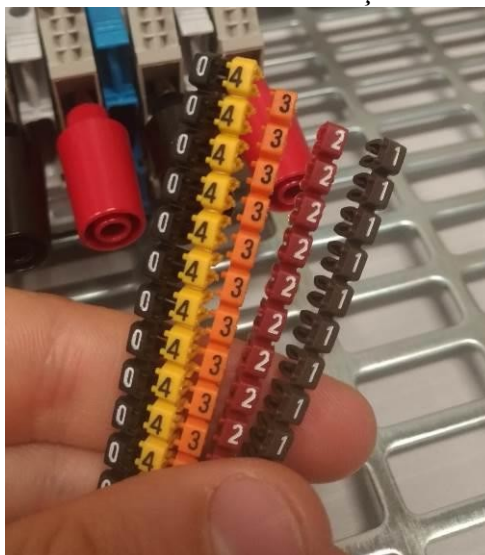
3.7 Identificação de cabos elétricos e canaletas de plástico

De acordo com Junior (2018), com o intuito de facilitar a identificação de um determinado condutor ou condutores no painel elétrico já montado e evitar que usuários precisem abrir as canaletas para seguir os condutores, foram utilizadas anilhas de identificação. As anilhas são fabricadas para diversas seções de cabos elétricos, podendo ter formatos e inscrições diversas: letras do alfabeto, símbolos elétricos, números etc. O autor ainda completa que as anilhas, normalmente, são posicionadas próximas às terminações, nas duas extremidades do condutor, sendo, então, imediatamente reconhecidas nas conexões de bornes e dispositivos.

Para o presente projeto, anilhas numéricas de 0 a 9 coloridas foram utilizadas para melhorar a organização e entendimento do painel elétrico, uma vez que com essas etiquetas não é necessário a abertura das canaletas para a compreensão do circuito elétrico. A identificação das anilhas pode ser vista nos diagramas elétricos por um pequeno número ao

lado do condutor. A Figura 54 ilustra as anilhas utilizadas no painel elétrico para identificação dos condutores.

Figura 54 – Anilhas de identificação numeradas.

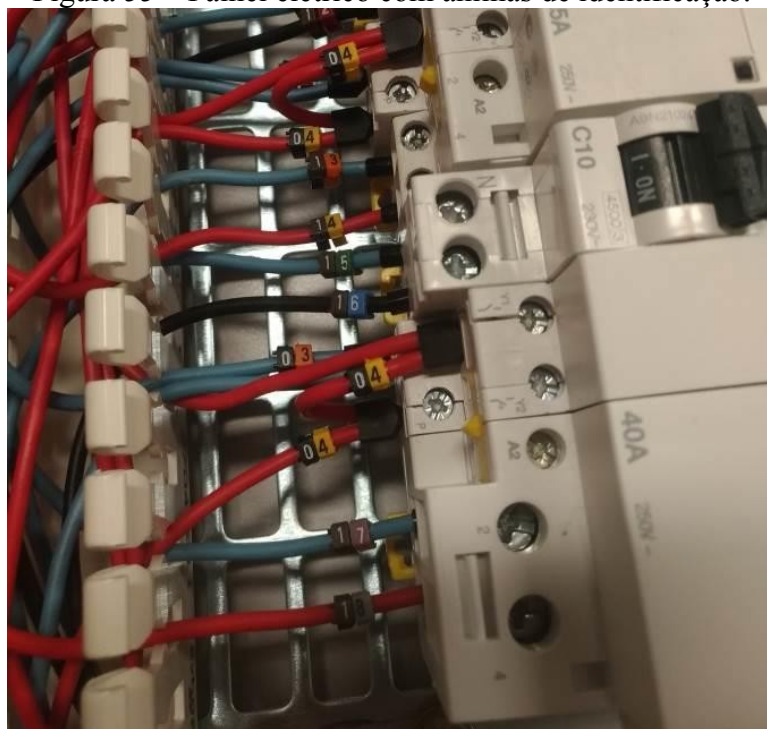


Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

A instalação das anilhas foi uma das últimas etapas para a finalização do painel elétrico. Usualmente, a instalação é feita no momento do cabeamento, junto à instalação de terminais elétricos de compressão. Conquanto, foi decidido executar essa parte após o teste e programação dos componentes, uma vez que talvez fossem necessárias mudanças no diagrama elétrico que comprometeriam a ordem lógica da colocação das anilhas. Essa instalação tardia facilitou as mudanças de condutores elétricos, posicionamentos, e troca de componentes, como foi o caso dos bornes de conexão.

Os números das etiquetas foram separados de forma a isolar numericamente os três circuitos elétricos: potência, comando e comunicação. No diagrama elétrico de potência, as anilhas começam por 00 e vão até 19. Observa-se que o barramento principal de energia, por ser o mesmo ponto de conexão, apresenta a mesma numeração, 02 e 03, em diversos pontos do circuito. No circuito de comando, a identificação começou, arbitrariamente, por 50 e terminou em 53, envolvendo os chicotes Ti24 de comunicação entre os *Smartlink's* e os escravos. Na parte de comunicação, a identificação inciou-se em 70 e terminou-se em 74, envolvendo os cabos de comunicação *Ethernet* e *Modbus* via serial RS-485. A Figura 55 ilustra o painel elétrico com as anilhas identificadoras na parte de potência.

Figura 55 – Painel elétrico com anilhas de identificação.



Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

As canaletas de proteção de recorte aberto, usadas no projeto, ao serem fechadas com suas respectivas tampas impossibilitam a visualização dos cabos elétricos, deixando o painel com uma aparência mais organizada e atraente. Todavia, mesmo com as identificações por anilhas e os diagramas elétricos fixados na parte inferior direita do painel, pode ser difícil ao usuário entender o que significa cada borne de saída e cada componente elétrico. Assim, para solucionar tal problemática, uma identificação adicional de redundância nas canaletas foi realizada para auxiliar na correta utilização do painel elétrico multifuncional.

Em cada canaleta do projeto, foi colocada uma etiqueta de identificação com o nome ou abreviação do componente mais próximo, como, por exemplo, Q1, Q2 até Q6 para disjuntores, KM1 e KM2 para contadores, *Charge* (carga) 1, 2 e 3, além de *non pilotable* (carga não controlável) e EDF (*Électricité de France*), que é a concessionária de energia francesa, entre outras etiquetas. Também foram colocadas etiquetas com o endereço IP dos componentes conectados à rede, como o *Smartlink Ethernet*, a interface homem-máquina e o controlador *SpaceLynk*. Para tanto, um rotulador eletrônico da marca DYMO (modelo LM160P) próprio para geração de etiquetas foi usado, essa máquina pode ser vista na Figura 56.

Figura 56 – Rotulador eletrônico para criação de etiquetas.



Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O propósito deste capítulo é apresentar, analisar e interpretar os resultados obtidos durante a execução do painel elétrico multifuncional, envolvendo a criação das telas de supervisão e da veracidade das informações apresentadas em tempo real pela interface homem-máquina.

Por meio da programação e configuração do *Smartlink Ethernet* e com todos os dispositivos instalados para monitoramento no painel elétrico, como os sensores *PowerTag* e o medidor de energia *Schneider*, é possível então, por meio da interface remota via endereço IP configurado pelo autor, monitorar e controlar o painel. A Figura 57 mostra a página principal de monitoramento e controle, na qual é possível verificar as 3 cargas controláveis na parte superior, com seus *status* atuais e os botões de controle. O *consumption by usage* está relacionado com o tipo de uso colocado no componente na hora de sua criação, sendo respectivamente, a produção de energia (*Renewable Energy Production*), o consumo de energia (*Genset*), outros dispositivos (*Other Sockets*) representado pelo botão de simulação de pulsos de energia para fins didáticos e o medidor de energia PM3250 (*Other*). A parte de consumo por carga (*Consumption by load*) sumariza e indica os valores de energia acumulados medidos pelos componentes, pelo fato do medidor de energia apresentar 3 pontos para medições, esse consegue separar e mostrar os valores por fase medida (I1, I2 e I3).

Figura 57 – Página principal de monitoramento e controle.

Asset Name	Usage	Product	Gateway	Status	Control
Charge1	Lighting	ReflexiC60	SmartlinkEthernet	Closed	Open Close
Charge2	Lighting	iACT24	SmartlinkEthernet	Closed	Open Close
Charge3	Lighting	iACT24	SmartlinkEthernet	Open	Open Close

Usage	Gateway	Partial Active Energy Delivered	Total Active Energy Delivered
Renewable Energy Production	SmartlinkEthernet	0.000 kWh	0.000 kWh
Genset	SmartlinkEthernet	2.094 kWh	2.094 kWh
Other Sockets	SmartlinkEthernet	0.060 kWh	0.000 kWh
Other	SmartlinkEthernet	1.570 kWh	1.570 kWh

Asset Name	Usage	Product	Gateway	Partial Active Energy Delivered	Load By Phase (I1, I2, I3)
Compteur dEnergie	Other	PM3250	SmartlinkEthernet	1.570 kWh	0 % 3 % 0 %
PowerTag Consommatio	Genset	PowerTag 1521	SmartlinkEthernet	2.094 kWh	0 %
PowerTag Production	Renewable Energy Production	PowerTag 1521	SmartlinkEthernet	0.000 kWh	0 %
Pulsos	Other Sockets	Pulse Counter	Smartlink Modbus 2	0.060 kWh	

Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

Observa-se também por meio da Figura 57 que os componentes apresentam um símbolo verde antes de seus respectivos nomes, esse representa que é possível abrir uma outra janela para maximizar os dados mostrados. Essa nova janela permite visualizar a energia ativa total fornecida acumulada (*Énergie active totale fournie*), a energia ativa parcial fornecida (*Énergie active partielle fournie*), a potência ativa total (*Puissance active totale*), o contador de funcionamento da carga (*Compteur fonctionnement charge*), o fator de potência (PF – *Power Factor*), a corrente (I), a tensão (V) e a potência (P).

A Figura 58 mostra as medições em tempo real do sensor de consumo em uma situação na qual o painel elétrico apresentava uma carga resistiva com fator de potência 0,99 e de aproximadamente 570 W, com uma tensão de alimentação de 239,70 V essa carga apresentou uma corrente de 2,37 A. Essa carga foi simulada pelo autor por meio de resistências elétricas didáticas (Figura 59) disponibilizadas pela *Université Grenoble Alpes*, essas resistências apresentavam o mesmo borne de conexão que o painel elétrico facilitando a conexão por meio de um cabo padrão disponível no mercado.

Paralelo aos dados vistos na interface remota, tem-se uma tela de uma interface homem-máquina inicial do painel na qual pode-se observar praticamente os mesmos dados em tempo real. Infere-se que a diferença algébrica entre os valores é devida ao tempo em que o autor demorou para se deslocar da interface local para a remota com a finalidade de retirar as fotos, contudo, essa diferença não deixa de mostrar a capacidade do sistema em recuperar os dados dos sensores pelos endereços *Modbus* e mostrá-los em tempo real para o usuário de forma local no painel elétrico via programação pelo software *Vijeo Designer*.

Figura 58 – Janela de dados para o consumo de energia e IHM com carga de 570 W.

Données temps réel :

Énergie active totale fournie : 211.680 kWh
 Énergie active partielle fournie : 24.923 kWh
 Puissance active totale : 0.568 kW
 Compteur fonctionnement charge : 74.14 heures
 PF : 0.99
 I : 2.37 A
 V : 239.70 V
 P : 0.568 kW



Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

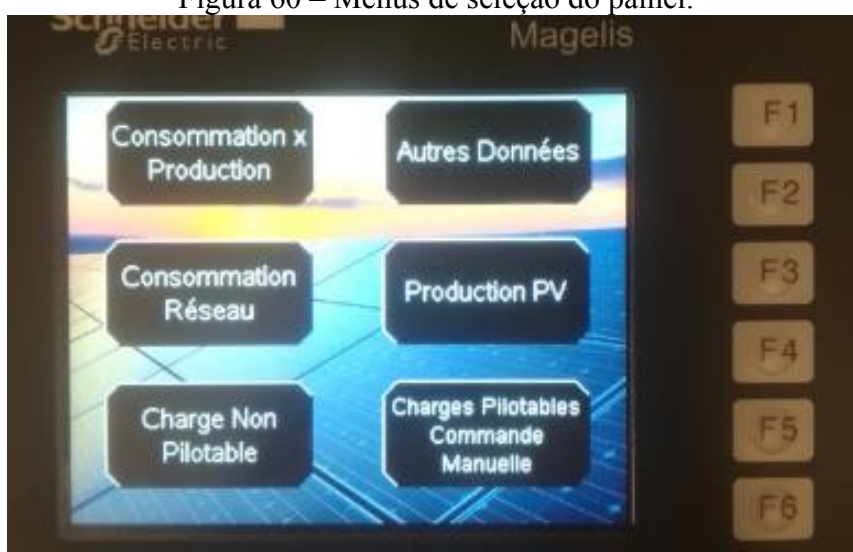
Figura 59 – Resistências elétricas didáticas e configuráveis.



Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

Percebe-se que a programação das interfaces com a criação de menus secundários fez com que a navegação dentro do programa criado ficasse de fácil utilização e entendimento. Após a tela inicial do projeto, que pode ser vista na Figura 49, foi criada uma página de interface com diversos botões secundários que levavam para as diversas funções do painel elétrico, guiando e direcionando o usuário em suas aulas teóricas e práticas. As seis funções, representadas pelos botões virtuais (Figura 60) eram: consumo x produção (*consommation x production*), consumo da rede (*consommation réseau*), controle da carga não controlável (*charge non pilotable*), outros dados (*autres données*), produção PV (*production PV*) e controle manual das cargas controlável (*charges pilotables commande manuelle*).

Figura 60 – Menus de seleção do painel.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A página relacionada com os outros dados (*Autres Données*) está diretamente ligada ao medidor de energia PM3250 instalado. Observa-se que esse dispositivo proporcionou ao painel elétrico um maior controle no quesito monitoramento, uma vez que esse além dos valores padrões, também registra valores máximos e mínimos e valores médios, além de montar todo o triângulo de potência com as potências ativa (P), reativa (Q) e aparente (S). A Figura 61 mostra uma tela sinótica criada, na qual os usuários pudessem encontrar outros dados (*Autres Données*) do processo que não poderiam ser mostrados em outras telas por falta de espaço físico. Nessa tela pode-se encontrar a corrente média medida pelo medidor, I1, I2 e I3, o fator de potência médio das cargas e a frequência de operação. Na figura pode-se observar que em determinado momento, tinha-se 1,386 A de corrente média entre a corrente da carga não controlável (I1), a carga 1 controlável pelo *Reflex iC60* (I2) e a corrente do ramo da fonte de alimentação (I3), percebe-se também um fator de potência unitário, característico de cargas resistivas e uma frequência estável de 50 Hz, que é a frequência de trabalho na França.

Figura 61 – Outros dados fornecidos pelo medidor de energia.

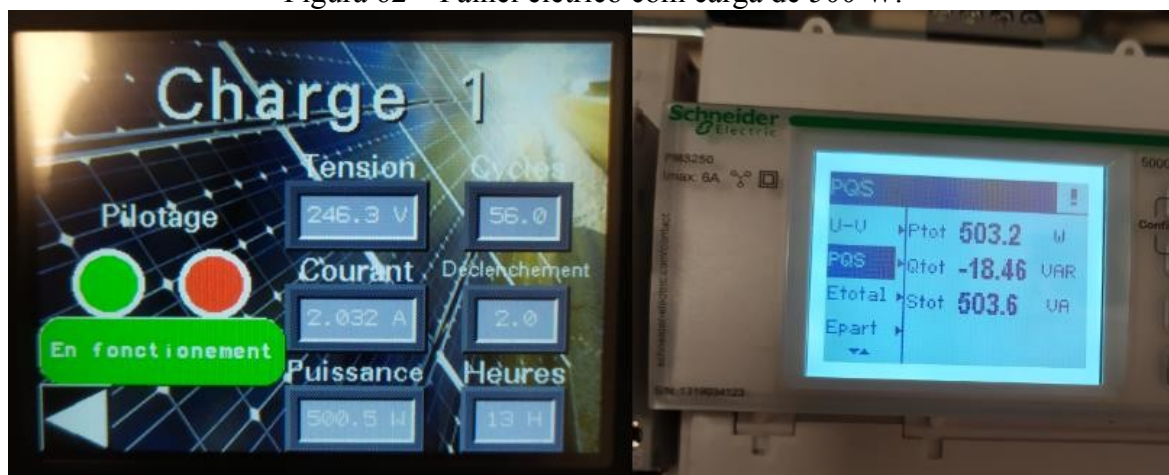


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A Figura 62 mostra o painel com uma carga de aproximadamente 500 W conectada à saída carga controlável 1, observa-se no medidor de energia que esse indica uma potência ativa de 503,2 W, enquanto na tela mostra-se uma potência de 500,5 W, tendo-se então, um erro de 0,54%. A carga podia ser comutada por meio dos botões de controle. Para visualizar outros dados no medidor de energia basta-se utilizar os quatro botões laterais para trocar de

menus. As interfaces mostradas abaixo estão no menu secundário de controle de cargas controláveis.

Figura 62 – Painel elétrico com carga de 500 W.



Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

A Figura 63 apresenta o painel elétrico agora com uma carga lida de 984,6 W conectada à carga 1, observa-se então uma corrente elétrica circulante de 4,035 A mostrada da interface homem-máquina *Magelis* e no medidor de energia uma corrente elétrica I2 de 4,041 A. Infere-se, todavia, um erro de 0,15 % entre as medições apresentadas em ambas telas de supervisão, erro que é praticamente insignificante. A fonte de alimentação CA/CC que alimenta todo o sistema de automação do painel elétrico em corrente contínua apresenta um consumo de 0,097 A (I3) que é mostrada simultaneamente às outras correntes. A corrente I1, no momento de medição estava em 0 A pela falta de carga conectada na saída não controlável.

Figura 63 – Painel elétrico com carga de 990 W.



Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

O painel elétrico também é capaz de medir, em forma de corrente elétrica e porcentagem, o quanto de energia está sendo utilizado para controlar o sistema baseado na corrente total consumida. Essa operação só pode ser feita devido o sistema apresentar os sensores de medição de entrada e o medidor de energia com uma de suas entradas na fonte de alimentação de corrente alternada para corrente contínua que é a responsável por alimentar o sistema de controle do painel elétrico. A Figura 64 mostra a tela da interface *Magelis* na qual pode-se observar os dois valores de entrada de corrente medidos pelos sensores, o consumo de energia da rede e a produção de energia renovável pelos painéis fotovoltaicos. Abaixo, pode-se verificar que no momento de medição, havia um consumo total de 2,070 A, sendo desse, 1,972 A (95,3 %) devido às cargas de saída (controláveis e não-controlável) e 0,096 A (4,73 %) de consumo para alimentar o controlador principal *Smartlink Ethernet*, o *Smartlink Modbus*, a interface homem-máquina e o controlador secundário *SpaceLynk*. Portanto, nesse momento, observa-se que de 2,070 A, 4,73 % está sendo destinado para o próprio painel, sendo esse então o consumo do painel elétrico, infere-se também que, de acordo com que o consumo das cargas aumenta, essa porcentagem diminui proporcionalmente.

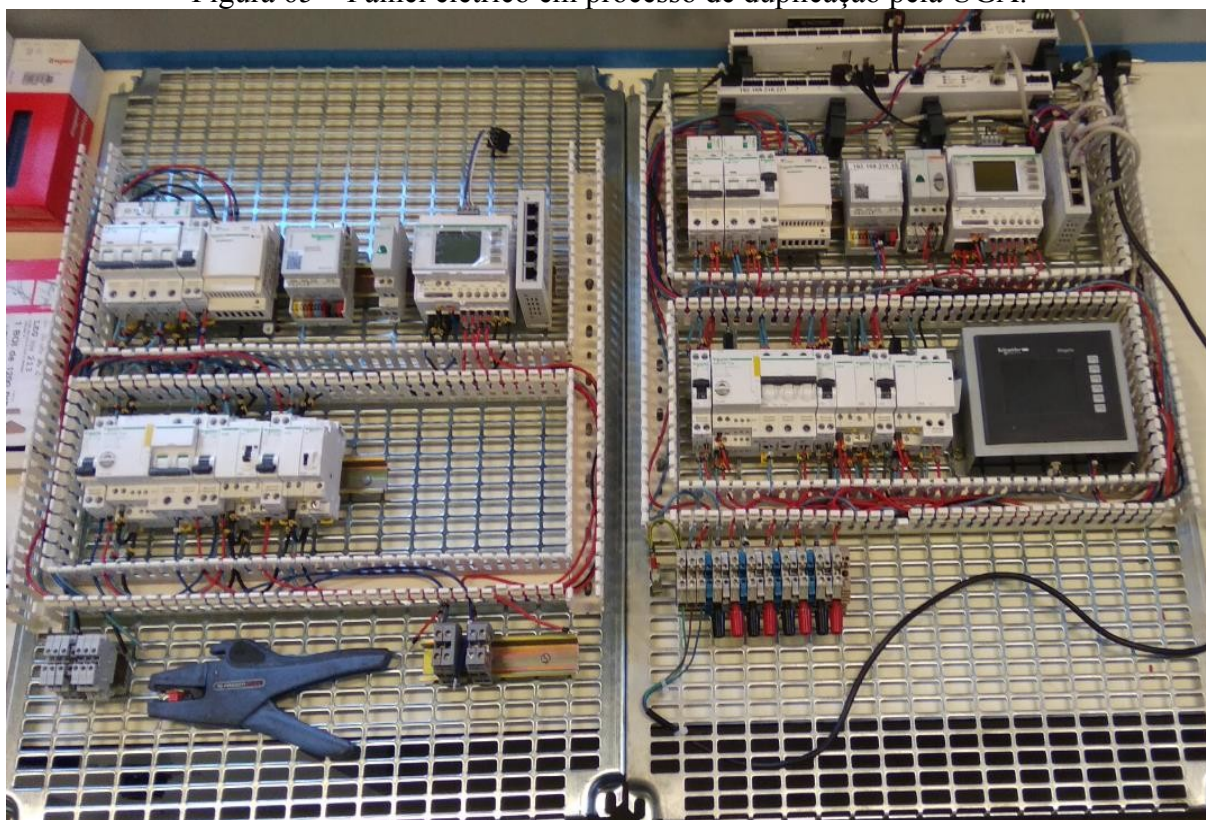
Figura 64 – Porcentagem de gasto energético.



Fonte: Elaborado pelo pelo autor (2019).

O presente trabalho conforme mencionado anteriormente, foi aplicado inicialmente na *Université Grenoble Alpes* de forma didática e científica para a utilização de docentes e discentes em aulas teóricas e práticas. O processo de replicação do painel elétrico, após ser testado e aprovado pela universidade francesa foi iniciado por alunos da própria instituição, fazendo com que esses estudantes também desenvolvem competências durante a montagem física do painel que envolve conceitos e fundamentos de instalações elétricas industriais e residenciais, acionamentos elétricos e mecânica. A Figura 65 mostra o painel elétrico didático multifuncional desenvolvido pelo autor, à direita e outro painel idêntico sendo replicado por alunos da universidade francesa, à esquerda.

Figura 65 – Painel elétrico em processo de duplicação pela UGA.

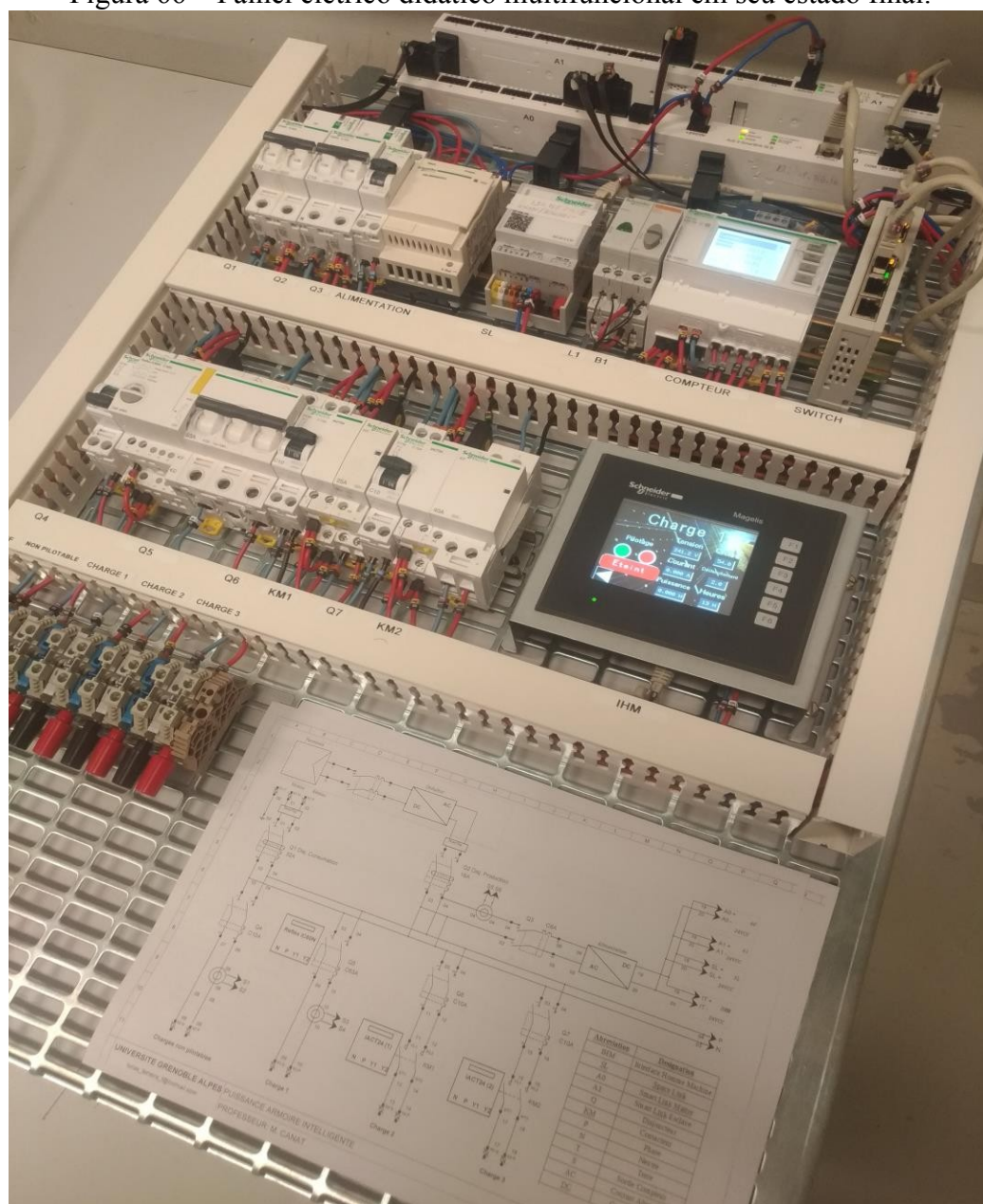


Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

O painel didático multifuncional, em sua fase final, pode ser visto na Figura 66. Esse foi concluído após a execução de todos os passos descritos durante o trabalho, tais como: criação e adaptação dos diagramas elétricos por meio do software *XRelais*, montagem e corte de trilhos DIN e canaletas para fixação de todos os componentes eletroeletrônicos, cabeamento completo com a instalação de terminais elétricos do tipo tubular longo, configuração do *Smartlink Ethernet* para monitoramento e controle remoto, incluindo a configuração de rede e

inclusão de dispositivos, projeto e instalação de um suporte metálico para a interface homem-máquina *Magelis*, programação desta por meio do software *Vijeo Designer* com a criação de diversas telas de monitoramento com recuperação de dados via *Modbus* e controle local através de botões virtuais, por fim, foi feita a identificação dos cabos elétricos com a adição de anilhas coloridas e numeradas, assim como a indicação dos componentes por meio de etiquetas, fixadas nas canaletas, produzidas com o auxílio de uma máquina etiquetadora.

Figura 66 – Painel elétrico didático multifuncional em seu estado final.



Fonte: Imagem capturada pelo autor (2019).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que o projeto do painel elétrico didático multifuncional com interface homem-máquina para controle de cargas atingiu os objetivos gerais de planejamento e execução do painel elétrico. Esse foi deixado funcional na *Université Grenoble Alpes*, podendo esse ser utilizado pelos alunos da universidade para estudos de comunicação *Modbus* via *Ethernet* e via serial RS-485, programação de sistemas supervisórios e de controladores programáveis *Smartlink Ethernet* e *SpaceLynk*. Entretanto, o último não foi completamente programado pelo autor, sendo realizado apenas testes de comunicação entre o controlador e a rede local, uma vez confirmado que tudo estava funcionando, o controlador secundário do painel foi deixado instalado no painel para que os usuários o utilizem para aulas de programação específicas.

A funcionalidade adicional de criação de alarmes do *Smartlink Ethernet* não foi amplamente aproveitada no presente projeto, logo, uma melhoria considerável seria de configurar alarmes baseados nas variáveis do processo para que o controlador enviasse correios eletrônicos para coordenadores da universidade, indicando o que aconteceu e quando aconteceu. Essa funcionalidade, de alarmes em tempo real, em painéis maiores ou em plantas industriais é muito útil uma vez que é difícil controlar todo um sistema por apenas uma tela supervisória, sendo normalmente necessário mais de um monitor ao mesmo tempo e com os alarmes o controle e monitoramento de qualquer painel será mais confiável, diminuindo, por consequência, o tempo de resposta para tomada de decisões pelo controlador do sistema em questão.

Observa-se, por meio das telas da interface homem-máquina das cargas controláveis 2 e 3, que essas não apresentam os valores das variáveis elétricas de processo, tais como, tensão, corrente, potência e fator de potência, esse fato ocorreu devido à falta de mais instrumentos de medição, tais como o sensor sem fios *PowerTag* ou o medidor de energia *Schneider PM3250*. Portanto, infere-se que com a adição de mais um desses equipamentos citados, o controle e monitoramento do painel elétrico iria encontrar-se em sua totalidade, com a alimentação da fonte CA/CC, todas as alimentações de entrada e as saídas de carga tendo suas variáveis indicadas na interface homem-máquina em tempo real.

Nota-se que o presente painel elétrico foi aplicado com energia solar captada por painéis fotovoltaicos instalados no terraço do departamento, porém, devido ao painel utilizar uma

nova tecnologia, o *Smartlink Ethernet*, que é totalmente flexível, esse pode ser usado com outros tipos de energia renovável, como a energia eólica por exemplo, basta para tal que essa tenha um controlador que permita a recuperação de suas variáveis de processo via comunicação *Modbus*. O painel elétrico também pode ser empregado para controle de cargas em indústrias, estabelecimentos comerciais e residências, nesse caso, basta retirar a segunda entrada de alimentação da energia renovável e deixar apenas a entrada da rede de alimentação, logo, com essa alteração, o usuário pode controlar localmente no painel: motores elétricos, lâmpadas, máquinas de lavar louça, sistemas de ventilação, entre outros. O usuário também poderá controlar remotamente todo o sistema por meio de um computador em uma sala de controle ou um celular, acessando o controlador via endereço IP. Considera-se que para tais aplicações pode ser necessário uma reavaliação e redimensionamento dos condutores elétricos e dispositivos de proteção a fim de atender a nova demanda energética.

Infere-se, também, que o painel elétrico didático multifuncional é multidisciplinar, contribuindo para a formação dos alunos na *Université Grenoble Alpes* ou em qualquer outra universidade onde o painel seja replicado e instalado. A contribuição para o desenvolvimento dos alunos prepara, em especial, para o mercado de trabalho, munindo-os com conhecimentos diversos e habilidades para trabalhar com novas tecnologias e, por consequência, contribuir para a disseminação desses conhecimentos nas empresas, levando ao aumento da implantação dessas tecnologias no país e no mundo. Além disso, em termos de pesquisa, os conhecimentos obtidos por meio da utilização do painel elétrico, possibilitam aos alunos realizarem investigações de diversas naturezas na área e, assim, disseminarem esses conhecimentos adquiridos.

Conclui-se, portanto, que devido à bilateralidade do intercâmbio, o CEFET-MG do campus de Araxá se beneficia pela exposição de seu curso de Engenharia de Automação Industrial em âmbito internacional, e também com a importação de novas tecnologias e ideias que podem ser aplicadas no futuro para o desenvolvimento e progressão geral do curso como um todo.

REFERÊNCIAS

29ª FEIRA INTERNACIONAL DA INDÚSTRIA ELÉTRICA, ELETRÔNICA, E. E A. **Automação e Manufatura Inteligente**. São Paulo, 25 jul. 2017. Disponível em: <<http://www.tec.abinee.org.br/2017/arquivos/a11.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2019

ALPHONSUS, E. R.; ABDULLAH, M. O. A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs). **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 60, p. 1185–1205, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: Instalações elétricas de Baixa Tensão**. Rio de Janeiro, 2004.

BEGGIORA, H. **Como editar o menu iniciar do Windows 10 e deixá-lo perfeito**. Brasil 29 de jul. de 2015. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2015/07/como-editar-o-menu-iniciar-do-windows-10-e-deixa-lo-perfeito.html>>. Acesso em: 10 dez. 2019.

BELLIARDI, R.; NEUBERT, R. *Modbus* protocol. In: **Industrial Communication Technology Handbook, Second Edition**. California: CRC Press, 2017.

BOSO, A. C. M. R.; GABRIEL, C. P. C.; FILHO, L. R. A. G. Análise de custos dos Sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid no Brasil. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 8, n. 12, 2015.
BUIATTI, G. M. et al. **Evaluation of latest photovoltaics technologies applied to telecommunication systems operating in shaded environments**. In: 2018 IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC). IEEE, 2018. p. 1-6.

CANAT, P. **Problematique de l'énergie Chapitre 1: Photovoltaïque raccordé au réseau 3) Cellules et Modules**. Grenoble, França: Université Grenoble Alpes, 2015.

CANAT, P. **Problematique de l'énergie Chapitre 1: Photovoltaïque raccordé au réseau 4) Les Onduleurs**. Grenoble, França: Université Grenoble Alpes, 2015.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Manual de Instalações Elétricas Residenciais - Gerência de Utilização de Energia - RC/UE**. Belo Horizonte, Brasil, 1 dez. 2003. Disponível em: <www.cemig.com.br>. Acesso em: 25 out. 2019

CONSULTREVI SOLAR. **Esquema de funcionamento do sistema Fotovoltaico “Off Grid”**. Itupeva, Brasil, 17 dez. 2017. Disponível em: <<https://consultrevisolar.com.br/sistema-fotovoltaico-off-grid/>>. Acesso em: 8 set. 2019

CRESESB. **Energia Solar: Princípios e Aplicações**. Rio de Janeiro: CEPTEL, 2006.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Plano Decenal de Expansão de Energia 2027. p. 345, 2018.

FLANDOLI, F. **Para proteger os fios e cabos-Programa Eletricista Consciente**. Tatuapé, Brasil, 11 out. 2017. Disponível em: <<http://www.eletricistaconsciente.com.br/blog/fique-por-dentro/artigos-tecnicos/para-proteger-os-fios-e-cabos/>>. Acesso em: 29 ago. 2019

FOROUZAN, B. A. **Comunicação De Dados E Redes De Computadores**. 4. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda., 2010.

FREITAS, S. S. A. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial Ramo Engenharia Eletrotécnica) - Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2008.

GARBIN; MAEDA, S. **Estudo da Evolução das Interfaces Homem-Computador**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica com Ênfase em Eletrônica) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

HOTZ, J. DOS S. **Bancada Didática para Controle de Nível e Temperatura**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Eletrônica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2014.

IEA. Global Energy & CO2 Status Report. p. 29, 2018.

JUNIOR, G. C. D. N. **Comandos Elétricos – Teoria e Atividades**. 2. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2018.

JÚNIOR, J. C. A. **A importância da leitura e da interpretação de desenho técnico para os alunos de engenharia de automação industrial do CEFET-MG/ Campus Araxá**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Automação Industrial) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, 2016.

LIBOW, L. S. S. **Place au Soleil: le gouvernement présente son plan solaire pour 2019**. Montpellier, França, 3 maio 2019. Disponível em: <<https://www.libow.fr/blog-avis/blog/place-au-soleil-le-gouvernement-presente-son-plan-solaire-pour-2019/>>. Acesso em: 25 set. 2019

OCULUS RIFT. Disponível em: <<https://www.oculus.com/>>. Acesso em: 10 dez. 2019

OLIVEIRA, F. F. R. DE; FERREIRA, M. M.; FURST, A. ESTUDO DA USABILIDADE NAS INTERFACES HOMEM-MÁQUINA. *e-xacta*, v. 6, n. 2, p. 93–105, 2013.

OLIVEIRA, R. P. DE. **Bancada Didática para Sistema Fotovoltaico Off-Grid**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

PERRIN, B. The Art and Science of RS-485. *Circuit Cellar*, p. 9, 1999.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Grupo de Trabalho de Energia Solar, 2014.

PUPPO, M. S. **Interface homem-máquina para supervisão de um CLP em controle de processos através da WWW**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

REYNDERS, D.; MACKAY, S.; WRIGHT, E. **Practical Industrial Data Communications: Best Practice Techniques**. Oxford: Elsevier, 2005.

RODRIGUES, P. R. **Projeto de bancada didática experimental para o uso de energia Solar e Eólica**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SÁ, J. G. P. **Construindo uma DSL para reconhecimentos de gestos utilizando Kinect**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

SCHNEIDER ELECTRIC. **Vijeo Designer Didacticiel User Manual**. Rueil-Malmaison, França, 2010.

SCHNEIDER ELECTRIC. **PM3200 Series User Manual**. Rueil-Malmaison, França, 2014.

SCHNEIDER ELECTRIC. **Reflex iC60 Integrated Control Circuit Breaker, ic60 Circuit-Breakers, Reference Manual**. Rueil-Malmaison, França, 2015.

SCHNEIDER ELECTRIC. **Acti 9 Smartlink SI B User Manual**. Rueil-Malmaison, França, 2016.

SCHNEIDER ELECTRIC. **Magelis GTO Quick Reference Guide**. Rueil-Malmaison, França, 2016.

SCHNEIDER ELECTRIC. **Acti 9 Power Tag Link User Manual**. Rueil-Malmaison, França, 2019.

SILVEIRA, C. B. **O que é um painel de comando elétrico-Citisystems**. Sorocaba, Brasil, 23 ago. 2018. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/painel-de-comando/>>. Acesso em: 23 set. 2019

ZURAWSKI, R. **Industrial communication technology handbook, second edition**. 2. ed.

California: CRC Press, 2017.