

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**RICARDO SILVANO KLEIN**

**PROJETO DE DIPLOMAÇÃO**

**AUTOMATIZAÇÃO E SUPERVISÃO DE MICROGRID BASEADA EM ENERGIAS  
RENOVÁVEIS**

Porto Alegre

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**AUTOMATIZAÇÃO E SUPERVISÃO DE MICROGRID BASEADA EM ENERGIAS  
RENOVÁVEIS**

DESCRIÇÃO DO PROJETO DESENVOLVIDO NA ESPANHA E APLICAÇÃO  
PRÁTICA NO DELET

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Fausto Bastos Líbano

Porto Alegre

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

RICARDO SILVANO KLEIN

**AUTOMATIZAÇÃO E SUPERVISÃO DE MICROGRID BASEADA EM ENERGIAS  
RENOVÁVEIS**

Este projeto foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da Disciplina de “Projeto de Diplomação”, do Departamento de Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Prof. Dr. Fausto Bastos Líbano, UFRGS  
Doutor pela *Universidad Politécnica de Madrid* (Espanha)

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Fausto Bastos Líbano, UFRGS  
Doutor em Engenharia Elétrica pela *Universidad Politécnica de Madrid*  
(Madrid, Espanha)

Prof. Dr. Jeferson Vieira Flores, UFRGS  
Doutor em Engenharia Elétrica pela UFRGS (Porto Alegre, Brasil)

Prof. Dr. Marcelo Götz, UFRGS  
Doutor em Engenharia Elétrica pela UFRGS (Porto Alegre, Brasil) e  
Doutor em Informática pela *Universität Paderborn* (Paderborn, Alemanha)

Porto Alegre, novembro de 2016.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais, minha namorada, e minhas irmãs, em especial pela dedicação e apoio em todos os momentos difíceis.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus agradecimentos primeiramente à minha família e minha namorada, por sempre me apoiarem.

Ao Brasil e ao CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento), pela oportunidade de estudar na Espanha pelo Programa Ciências sem Fronteiras, e durante este programa ter desenvolvido este projeto.

Ao *Instituto de Ingeniería Energética*, pela oportunidade de trabalhar durante 5 meses em seu laboratório no desenvolvimento da automatização e supervisão da microgrid.

Aos meus orientadores neste projeto, Carlos Vargas Salgado no IIE e Fausto Bastos Líbano na UFRGS. Aos colegas pelo auxílio nas tarefas, trabalhos e projetos desenvolvidos durante o curso.

E finalmente, à UFRGS e à UPV, assim como a seus professores por todo o conhecimento adquirido durante a graduação.

## RESUMO

Este projeto tem como tema a automatização e supervisão de microgrids baseadas em energias renováveis. Os objetivos específicos são a apresentação do sistema de automatização e supervisão de uma planta microgrid baseada em energias renováveis realizado na Espanha, no *Instituto de Ingeniería Energética*; e em adição, o desenvolvimento da supervisão de uma planta piloto de energia solar instalada no DELET da UFRGS. Com este sistema no DELET tem-se como problemática verificar a viabilidade de sistemas de supervisão em microgrids de menor porte, com automação a baixo custo. Ainda, realizou-se um estudo teórico sobre as políticas que vêm incentivando o uso de energias renováveis e podem impulsionar o uso de microgrids, e estudou-se as normas e regulamentos referentes a automatização de microgrids, e a conexão destas ao sistema de distribuição brasileiro. Nos sistemas desenvolvidos empregou-se na metodologia o método experimental. Na Espanha, dispõe-se para a planta microgrid de geração solar, eólica e por biomassa, que estão conectados a baterias, a cargas e à rede elétrica. Na automação deste sistema programaram-se os CLPs CJ2M e CP1L da Omron para leitura e escrita dos registros de dois medidores de potência Sentron PAC 3200, de quatro medidores PM710 e de um Inversor/Conversor Híbrido Xantrex XX4548. No sistema SCADA, utilizou-se o software Cx-Supervisor da Omron, e desenvolveram-se 5 páginas, para visualização e configuração dos registros de interesse dos dispositivos conectados. No projeto desenvolvido no DELET, dispõe-se apenas de geração solar, e desenvolveu-se uma placa de medição, para aquisição do valor de tensão e corrente gerados. Estes são lidos por um arduino Atmega 2560, que envia os dados para um endereço web via Ethernet e para o computador via porta serial. Assim, tem-se um sistema à distância, com a visualização dos dados lidos em uma tabela HTML em uma página web, e também um aplicativo com sistema local para visualização e acionamentos desenvolvido com o software Microsoft C#, semelhante ao desenvolvido na Espanha. Finalmente, por meio de ensaios comprovou-se que os sistemas operam como planejado. Na Espanha, por meio da automatização e supervisão a microgrid tornou-se um sistema mais confiável e de fácil operação, sendo que o sistema SCADA desenvolvido proporciona visualização e configuração de toda a microgrid em tempo real. No DELET, alcançou-se um sistema de supervisão a baixo custo, que proporciona melhor visualização da geração e possibilita habilitar o consumo de cargas, com possibilidade futura de conexão à rede elétrica.

**Palavras-chaves: Microgrid, Automatização, SCADA, Energias Renováveis.**

## ABSTRACT

The theme of this project is automation and supervision of microgrids based on renewable energies. The main objectives are to present the automation and supervisory system developed of a microgrid plant based on renewable energies at the Instituto de Ingeniería Energética, in Spain. In addition, a supervisory system will be developed for the solar plant installed at DELET - UFRGS. The system at DELET will serve to verify the feasibility of supervision systems in smaller microgrids, with low cost automation. Besides it, a theoretical study was carried out on the policies that have been encouraging the use of renewable energies and how they can promote the use of microgrids. Also, it was verified the standards and regulations regarding to the automation of microgrids and for connect to the Brazilian distribution system. In the developed system was used the experimental method in the methodology. In Spain, the available microgrid has solar, wind and biomass generation, which are connected to loads, batteries and the utility grid. In the automation system was used Omron's CJ2M and CP1L Programmable Logic Control (PLC). They were programmed in ladder language to read and write registers of two power meters Sentron PAC 3200, to four power meters PM710 and one Hybrid Inverter/Converter Xantrex XX4548. On the SCADA, 5 pages were created using Omron's CX-Supervisor software. Those pages display the values read in the PLCs and allow setting up configuration of some connected devices. In the project developed at DELET, only solar generation is available, and a measuring system was made to acquire the values of the voltage and current generated. The values are read by an Arduino ATmega 2560, which sends the data to a web address via Ethernet and to the computer via serial. Therefore, there is a remote system that displays the data in HTML on the web address and an application as local system, build in Microsoft Visual C#. That second one is similar to SCADA system developed in Spain. Finally, through automation and supervision the microgrid in Spain has become a more reliable and easy-to-operate system. The SCADA provides visualization and configuration of the whole operation in real time. The system obtained at DELET, proved the feasibility in design a low-cost supervisory system in a microgrid based on just solar generation. It provides visualization of the generation and allows switch connection with loads, and in the future can connect to the utility grid.

**Keywords: Microgrid, Automation, SCADA, Renewable Energy.**

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Exposição do assunto.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2</b>	<b>Motivação .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>14</b>
<b>1.4</b>	<b>Estrutura do Trabalho .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>FONTES RENOVÁVEIS E MICROGRID .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Políticas para o uso de energias renováveis .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Microgrids .....</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>AUTOMATIZAÇÃO E SUPERVISÃO DE MICROGRIDS .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1</b>	<b>Importância da Automação .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2</b>	<b>Automação com CLPs e Comunicação com Protocolo Modbus .....</b>	<b>21</b>
<b>3.3</b>	<b>Sistema Supervisório SCADA .....</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>MICROGRIDS E O SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO NO BRASIL .....</b>	<b>23</b>
<b>4.1</b>	<b>Regulação das fontes renováveis e das microgrids.....</b>	<b>23</b>
<b>4.2</b>	<b>Acesso aos sistemas de distribuição .....</b>	<b>24</b>
<b>4.3</b>	<b>Requisitos de Projeto e Condições de Desempenho e Qualidade .....</b>	<b>26</b>
<b>4.4</b>	<b>Medição do consumo da energia elétrica.....</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>AUTOMATIZAÇÃO E SUPERVISÃO DA MICROGRID NO IIE.....</b>	<b>29</b>
<b>5.1</b>	<b>Equipamentos Utilizados .....</b>	<b>29</b>
<b>5.2</b>	<b>Programas Utilizados .....</b>	<b>31</b>
<b>5.3</b>	<b>Microgrid no IIE.....</b>	<b>31</b>
<b>5.4</b>	<b>Objetivos e Critérios de Projeto .....</b>	<b>32</b>
<b>5.5</b>	<b>Automação.....</b>	<b>33</b>
<b>5.6</b>	<b>Sistema Supervisório SCADA .....</b>	<b>43</b>
<b>6</b>	<b>SISTEMA SUPERVISÓRIO DESENVOLVIDO NO DELET.....</b>	<b>49</b>
<b>6.1</b>	<b>Sistema de medida e acionamento.....</b>	<b>50</b>
<b>6.2</b>	<b>Sistema de visualização à distância.....</b>	<b>50</b>
<b>6.3</b>	<b>Sistema de visualização e acionamento local.....</b>	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>56</b>
<b>7.1</b>	<b>Resultados na Espanha .....</b>	<b>56</b>
<b>7.2</b>	<b>Resultados no DELET.....</b>	<b>69</b>
<b>8</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>73</b>

<b>8.1</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>73</b>
<b>8.2</b>	<b>Trabalhos Futuros .....</b>	<b>75</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>76</b>
	<b>ANEXO .....</b>	<b>79</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Exemplo de Smart Grid - Modificada de CleansPark [13] .....	19
Figura 2: Header Modbus .....	22
Figura 3: Microgrid no IIE - Modificada do IIE [03].....	32
Figura 4: Ping por meio do Prompt de comando.....	33
Figura 5: Teste Multiway .....	34
Figura 6: Linha de código em Linguagem Ladder .....	35
Figura 7: Blocos de Função básica .....	36
Figura 8: Bloco de função para estabelecer comunicação.....	37
Figura 9: Bloco de Função de Leitura .....	38
Figura 10: Contatos para solução de alguns erros .....	40
Figura 11: Bloco de Função de escrita .....	41
Figura 12: Condições iniciais no CPIL.....	43
Figura 13: Conecta a planta de gaseificação ou a rede elétrica .....	43
Figura 14: Criação de variáveis no SCADA .....	45
Figura 15: Variáveis no SCADA.....	45
Figura 16: Páginas SCADA.....	46
Figura 17: Página da planta de gaseificação.....	47
Figura 18: Página dos Sentron PAC .....	47
Figura 19: Página de Alarmes .....	48
Figura 20: Definição do IP e máscara de rede.....	50
Figura 21: Ping dentro da rede da UFRGS.....	51
Figura 22: Código do modelo padrão de header http .....	51
Figura 23: Código para enviar os dados via Ethernet.....	51
Figura 24: Lista das portas COM disponíveis .....	53
Figura 25: Habilitar e desabilitar carga .....	53
Figura 26: Tratamento dos dados recebidos .....	54
Figura 27: Acionamento dos relés no Arduino.....	55
Figura 28: Página principal da Microgrid.....	56
Figura 29: Legenda da página principal da Microgrid .....	57
Figura 30: Página dos PM710 .....	57
Figura 31: Página dos gráficos .....	58
Figura 32: Página do Xantrex .....	60

Figura 33: Página de configuração do Xantrex .....	61
Figura 34: 1º Ensaio .....	63
Figura 35: 2º Ensaio .....	65
Figura 36: 3º Ensaio .....	66
Figura 37: 4º Ensaio .....	67
Figura 38: Antes da escrita no Xantrex .....	68
Figura 39: Depois da escrita no Xantrex .....	68
Figura 40: Sistema físico de medida .....	69
Figura 41: Sistema supervisor Ethernet com dados exibidos no navegador .....	70
Figura 42: Sistema de medição local com acionamentos sem carga habilitada .....	71
Figura 43: Sistema de medição local com acionamentos com carga habilitada.....	72

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Códigos de erro de leitura.....	39
Tabela 2: Contatores .....	42
Tabela 3: Ensaio realizados.....	62

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

CA: Corrente Alternada

CC: Corrente Contínua

CLP: Controlador Lógico Programável

DELET: Departamento de Engenharia Elétrica

IEC: *International Electrotechnical Commission*

IEEE: Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos

IIE: *Instituto de Ingeniería Energética*

ONS: Operador Nacional do Sistema Elétrico

PRODIST: Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico

Nacional

SCADA: Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados

SIN: Sistema Interligado Nacional

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UPV: *Universitat Politècnica de València*

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 EXPOSIÇÃO DO ASSUNTO

No Brasil, em 2004 iniciaram-se incentivos para aumento do uso de energias renováveis, por meio do Decreto nº 5.025, que estabeleceu o Programa de Incentivo às Fontes Renováveis Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) [1].

Esta diversificação das fontes energéticas e melhorias na eficiência energética podem conduzir a um aumento na geração de energia distribuída baseada em fontes renováveis. A partir disto, pode-se tornar viável o uso de microgrids, que são versões em menor escala de sistemas elétricos centralizados e geralmente são baseados em fontes renováveis.

Estes sistemas microgrids podem operar tanto ilhados, quanto conectados à rede elétrica, e para isto devem seguir critérios técnicos e de qualidade estabelecidos pela ANEEL [2], sendo de grande importância a instalação de equipamentos que possibilitem um mínimo de automação e disponham de aquisição e comunicação de dados. Ao dispor de mais equipamentos para automação, pode-se obter finalmente sistemas de supervisão, para facilitar a operação da planta microgrid.

## 1.2 MOTIVAÇÃO

O projeto de um sistema de automatização e supervisão de uma microgrid baseada em energias renováveis desenvolvido durante o programa Ciências sem Fronteiras motivou a realização deste Projeto de Diplomação.

Este sistema de automação e supervisão foi realizado na Espanha, no *Instituto de Ingeniería Energética*, que se encontra localizado dentro da *Universitat Politècnica de València*. Durante o desenvolvimento deste sistema, teve-se a supervisão do Engenheiro Mecânico Dr. Carlos Vargas Salgado.

## 1.3 OBJETIVOS

Os objetivos específicos deste trabalho são apresentar o sistema de automação e supervisão desenvolvido na Espanha no IIE – *Instituto de Ingeniería Energética* [3], e desenvolver um sistema de supervisão de uma planta piloto de energia solar no Brasil, no DELET.

Além disso, realiza-se um estudo sobre as fontes renováveis, que são impulsionadores do uso de sistemas microgrid. E estuda-se as normas envolvidas na automação e supervisão das plantas microgrids, assim como as normas brasileiras para conexão de microgrids com o sistema de distribuição, em caso da microgrid não operar ilhada.

Na apresentação do sistema desenvolvido na Espanha descrevem-se os sistemas de automação com CLPs e supervisão com sistema SCADA, considerando a comunicação por TCP/IP em conjunto com a automação. Neste projeto havia uma microgrid com 3 fontes renováveis, em que teve-se como prioridade a confiabilidade do sistema, tendo-se à disposição equipamentos de alta tecnologia, como CLPs e medidores inteligentes, e desenvolveu-se a automação da microgrid com estes equipamentos afim de obter um sistema SCADA com interface de fácil operação.

Para o sistema da planta piloto de energia solar, desenvolve-se a supervisão desta planta com a prioridade de realização de um sistema de baixo custo, utilizando preferencialmente microcontroladores e componentes sensores.

#### **1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO**

O presente trabalho está dividido em 7 capítulos. No Capítulo 2 há uma revisão bibliográfica sobre as políticas referentes aos incentivos no uso de energias renováveis e geração distribuída, que podem levar a uma expansão das microgrids, as quais são exemplificadas.

No Capítulo 3 discute-se a importância da automatização, e realiza-se um estudo sobre os métodos empregados de automatização e supervisão, assim como as normas e protocolos que se aplicam.

No Capítulo 4 são apresentadas as normas pertinentes à conexão de sistemas microgrids no Brasil com o sistema de distribuição, sendo de interesse nos casos em que a microgrid não opera ilhada.

No Capítulo 5 é apresentado o sistema desenvolvido na Espanha, no IIE, explicando-se em detalhe a metodologia utilizada na automação e supervisão da microgrid disponível.

No Capítulo 6 é descrita a metodologia do sistema desenvolvido no DELET, explicando-se o sistema de medida desenvolvido e os programas utilizados para o sistema supervisorio.

No Capítulo 7 são apresentados os resultados obtidos dos sistemas desenvolvidos na Espanha e no DELET, com a respectiva análise dos resultados.

No Capítulo 8 discutem-se finalmente as considerações finais do trabalho, apresentando possíveis trabalhos futuros.

Em Anexo consta a folha da avaliação final do projeto desenvolvido na Espanha.

## **2 FONTES RENOVÁVEIS E MICROGRID**

Neste Capítulo apresentam-se as políticas que incentivam o uso de energias renováveis e geração distribuída, que podem propiciar uma expansão das microgrids, as quais são também exemplificadas.

### **2.1 POLÍTICAS PARA O USO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS**

Recentemente, políticas vêm sendo criadas a fim de estabelecer melhores condições de mercado para estimular a eficiência e uso de energias renováveis, estimulando o uso de sistemas de geração centralizado e distribuído baseado em energias renováveis, como é o caso do plano estratégico para competitividade, sustentabilidade e segurança para energia em 2020, publicado em 2015 pela Comissão Europeia [4].

Por meio destas políticas, de 2013 a 2014 houve aumento de 17% em novos investimentos no mundo em fontes renováveis, equivalente a \$270 bilhões de dólares. Destes investimentos, aproximadamente 36% foram para países em desenvolvimento, estando o Brasil entre os países com maior percentual de aumento. E observando-se a finalidade destes investimentos, 55% foram direcionados a energia solar e 37% à energia eólica. Sobretudo, em torno de 25% foram investidos em projetos de pequena escala, como de painéis solares [5].

Em relação ao uso dos painéis solares, observam-se muitas vantagens, principalmente na implementação e montagem do sistema de geração, na baixa incidência de ruídos e flutuação da rede, fácil instalação em áreas urbanas e rurais, longa vida e baixo custo de manutenção [6].

Em termos de capacidade de produção já instalada de energia eólica, em 2014 a Espanha estava na quarta posição global, atrás da China, Estados Unidos e Alemanha, e o Brasil na décima posição [7].

No Brasil, no Planejamento Estratégico do Operador Nacional do Sistema para o ciclo 2016-2020, observam-se ações estratégicas voltadas à geração distribuída e às microgrids. Em relação à geração distribuída, pretende-se desenvolver e implantar ferramental para a realização de estudos que a considerem. Em relação às microgrids, pretende-se avaliar a aplicação no SIN das medidas que estão sendo adotadas sobre estas, assim como, aos requisitos para integração de geração solar residencial e comercial [7].

## 2.2 MICROGRIDS

Microgrids são versões em menor escala de sistemas elétricos centralizados. Tais sistemas, que são pequenas redes elétricas independentes, já existem há muitos anos em regiões onde a conexão com a rede elétrica principal não é disponível [8].

Segundo Khodaei [9], os componentes principais de uma microgrid constituem-se de cargas elétricas, fontes de energia distribuídas (renováveis e não renováveis), um controlador central, interruptores inteligentes, proteção de aparelhos, além de sistemas de comunicação, controle e automação.

Em termos de fontes energéticas, podem operar com energia solar, eólica, diesel, biomassa, etanol, células de hidrogênio, entre outras fontes. Geralmente utilizam-se fontes renováveis, como solar e eólica. Contudo, isto não é obrigatoriedade, sendo que muitas utilizam o diesel como fonte energética, mas parte destas vem ultimamente substituindo os geradores a diesel por outras fontes renováveis.

Segundo estudo publicado pelo *Rocky Mountain* [10] sobre Microgrids espalhados ao redor do mundo, as 3 principais razões para comunidades isoladas adotarem a substituição de microgrids baseadas em diesel ou petróleo por outra de fonte energética decorre da redução dos custos, conscientização ambiental e abundância de recursos naturais, como é o caso das Ilhas Falkland, em que o custo de importação de petróleo é alto, mas há abundância de vento.

Muitas vezes empregam baterias ou outro sistema de armazenamento de energia. E devido ao sistema ser local, o consumo de cargas ocorre próximo à geração, inserindo energia limpa na matriz energética e conscientizando a população da região sobre o aproveitamento dos recursos energéticos, além de diminuir as perdas devido à transmissão.

Além disso, microgrids podem estar conectados à rede elétrica principal ou operarem de forma independente. Ao operar em ambos os modos, por ser um sistema próximo à rede elétrica principal, espera-se que ocorra transições na conexão, desconectando da rede elétrica quando houver black-out (operando ilha), ou conectando à rede elétrica quando houver fornecimento de energia. Ao conectarem-se à rede elétrica os sistemas devem estar sincronizados e operarem simultaneamente [11].

Segundo o padrão internacional constante na IEEE 1547.4 (*Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems*) [12] têm-se várias definições e guias de parâmetros que devem ser seguidos pelos projetistas, engenheiros e técnicos das concessionárias para realizarem a correta implementação de uma microgrid.

Por meio de automação e controle destas microgrid, estes podem tornar-se sistemas inteligentes, conhecidos como Smart Grids, modo exemplificado pela Figura 1.

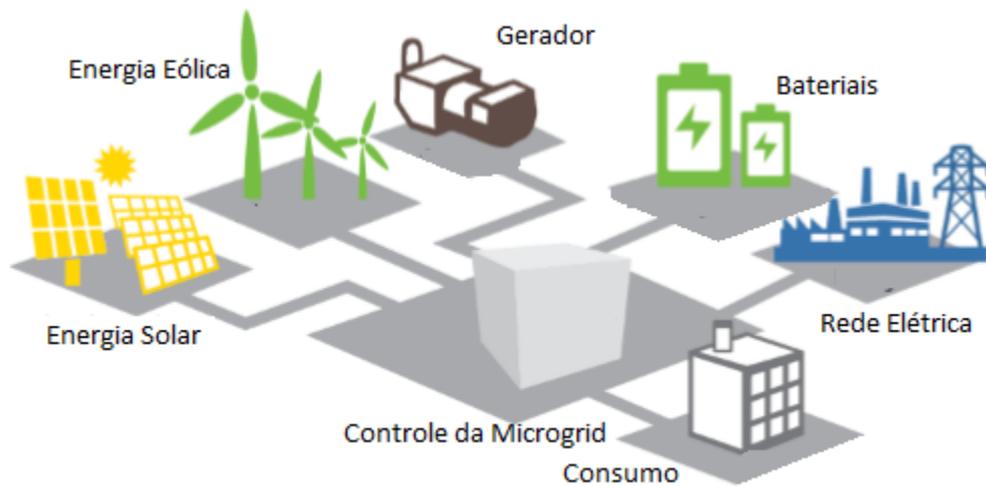


Figura 1: Exemplo de Smart Grid - Modificada de CleansPark [13]

Segundo a Comissão Europeia de Smart Grids, uma Smart Grid opera de forma eficiente, econômica e garante o suprimento de energia, interpretando o comportamento e ações dos usuários conectados ao sistema, geradores ou consumidores. [14]

Estes sistemas podem ser utilizados em locais muito distantes e pequenos, gerando e consumindo a energia na região, onde não seria economicamente viável a transmissão de energia elétrica devido aos custos e as perdas. Também, podem ser utilizados conectados a rede elétrica, sendo suprimidos pela rede principal em momentos de baixa geração e devolverem energia à rede em momentos de excesso de geração.

Um bom exemplo de aplicação destes sistemas é em locais de mineração, que são remotos e de difícil acesso, sendo mais viável adotar um modelo de produção própria e sustentável de energia elétrica por meio de microgrid. [15]

Contudo, a instalação e automatização de sistemas microgrids trazem alguns desafios, como estabilidade no fornecimento, e principalmente em locais remotos observa-se dificuldade no transporte dos equipamentos e na construção, além de requerimentos burocráticos e regularização. [10]

### 3 AUTOMATIZAÇÃO E SUPERVISÃO DE MICROGRIDS

Neste Capítulo apresentam-se a importância da automatização, os padrões utilizados para comunicação de dados e automação da planta, e uma explanação dos sistemas SCADA.

#### 3.1 IMPORTÂNCIA DA AUTOMATIZAÇÃO

Segundo a NIST-SGIP (*National Institute of Standards and Technology – Smart Grid Interoperability Panel*), a automatização de microgrids é toda e qualquer automação utilizada no planejamento, construção, operação e manutenção destes sistemas, incluso nas interações com o sistema de distribuição, com as fontes de energia e com a interface do usuário.

Microgrids podem ser automatizadas e controladas com diferentes objetivos, e destacam-se a necessidade de uma mínima automação para atender ao padrão de indicadores de desempenho e de qualidade do serviço de distribuição, regidos pela ANEEL [2]. Sendo que estes servem para preservar a segurança, a eficiência, a confiabilidade do sistema e das conexões existentes, assim como do meio ambiente.

É possível automatizá-las e controlá-las buscando sustentabilidade e maior confiabilidade no sistema, utilizando-se principalmente a energia proveniente das fontes renováveis quando disponíveis, e em outros momentos utilizar fontes não renováveis, como de geradores a diesel, para que o sistema opere com sustentabilidade e com a premissa de estar sempre operativo.

Pode-se aperfeiçoar o sistema em busca de maior qualidade da energia, mantendo-se a frequência estável pelo monitoramento e controle da potência ativa, e da tensão estável pelo monitoramento e controle da potência reativa.

Ainda, pode-se automatizar buscando-se apenas benefícios econômicos, um exemplo seria no Brasil, onde há faixa de horários em que devido ao excessivo consumo tem-se energia a um custo mais elevado, e assim, poder-se-ia utilizar a energia gerada e armazenada nestes horários de ponta, e em outros horários utilizar a energia da rede elétrica principal.

E por meio de um sistema registrando os dados de geração e consumo, em conjunto com a identificação das condições meteorológicas que são importantes a sistemas solar e eólico, poder-se-ia realizar previsões futuras de geração e consumo, que levaria a um sistema Smart Grid.

Em síntese, os sistemas de comunicação, controle e automação são utilizados para implementar ações que assegurem um sistema confiável, efetivo e constante por meio da relação entre os componentes na microgrid [9].

### 3.2 AUTOMATIZAÇÃO COM CLPs E COMUNICAÇÃO COM PROTOCOLO MODBUS

Na comunicação, as microgrids seguem internacionalmente o padrão IEEE P1547.8 [16], sendo que muitas configurações e protocolos de comunicação são possíveis. Na escolha do protocolo levam-se em consideração fatores como as opções de protocolos disponíveis, quantos equipamentos estarão conectados, a quantidade de tráfego de dados envolvido e questões de segurança.

Muitas conexões são P2P (Ponto-a-Ponto), além de utilizar-se LAN e WAN. A escolha do sistema de comunicação, configuração, equipamentos e protocolos de comunicação adotados para automação dependem principalmente do objetivo de automatização, implementação e custos de instalação e manutenção. [17]

A IEC 61850-7-420 [18] é a referência como padrão internacional para a estrutura e automação de sistemas de geração de energia distribuída e a IEC 61850-90-7 [19] fornece modelos que devem ser utilizados na comunicação. Entre estes modelos encontram-se o *ModBus*, *MMS*, serviço *Web*, *DNP3*, *Smart Energy Profile*, entre outros.

Entre estes, o protocolo Modbus, desenvolvido pela Modicon, é o mais utilizado, por ser de uso livre é amplamente utilizado na indústria [20]. Neste, estabelece-se a comunicação desde o nível de camadas referente a conexões físicas, até o nível do formato das mensagens (*Modbus TCP frame*), sendo de interesse neste projeto o formato das mensagens. Ainda, estabelece-se na comunicação uma relação de mestre-escravo. Para automação, onde se tem como equipamento principal o CLP, implica que este atuará como mestre realizando a leitura e escrita dos outros aparelhos (escravos).

O mestre é quem realiza a solicitação de leitura ou escrita (*Query*), por meio do envio de uma mensagem com um cabeçalho (*Header*) e a requisição (*Request*). No cabeçalho tem-se em ordem, o número de transição de identificação (2 bytes), o número de identificação do protocolo (2 bytes), a quantidade de bytes que restam serem enviados (2 bytes) e o endereço do escravo (1 byte). Para exemplificação do cabeçalho tem-se a Figura 2.

Transição ID (2 bytes)	Protocolo ID (2 bytes)	Tamanho (bytes a serem enviados) (2 bytes)	Endereço (1 byte)
---------------------------	---------------------------	-----------------------------------------------	----------------------

Figura 2: Header Modbus

Na requisição, tem-se em ordem, o código da função Modbus (1 byte), o endereço do primeiro registro a ser lido/escrito no escravo (2 bytes) e a quantidade de registros que será lida/escrita (2 bytes).

No escravo, tem-se como modelo de mensagem o cabeçalho (*Header*) e a resposta (*Response*). O cabeçalho é o mesmo do mestre, e a resposta terá em ordem o código da função (2 bytes), o número de bytes enviados  $n$  (1 byte) e a mensagem ( $n$  bytes).

Para este projeto, em relação à mensagem, tem-se maior interesse no código da função Modbus, no endereço do escravo, no primeiro endereço a ser lido/escrito e na quantidade de registros. O código da função varia de 01 a 24, abrangendo deste a leitura de uma saída discreta (On/Off) com o código 01, até escrita de vários registradores. Para a leitura de múltiplos registros, utiliza-se o código de função 3, e para escrita de múltiplos registros, utiliza-se o código de função 10. O endereço Modbus pode variar de 0 a 250. Maiores informações sobre o protocolo Modbus podem ser obtidas diretamente em [19].

Quando se tem a leitura e escrita de todos os outros dispositivos (escravos) pelo mestre, obtém-se de forma centralizada no CLP a visualização e configuração de todos os registros dos escravos. Com isto, podem-se levar estes dados a sistemas supervisórios SCADA, que possuem uma interface mais simples e amigável de visualização e configuração.

### 3.3 SISTEMA SUPERVISÓRIO SCADA

Um sistema supervisório SCADA baseia-se na importação de registros lidos de um CLP diretamente para um software em um computador ou outro dispositivo para visualização. Por meio de um supervisório SCADA, pode-se exibir graficamente uma imagem representando cada processo ou equipamento, exibir dados de interesse, adicionar botões para acionamento de contadores, e através de múltiplas páginas no software, levar a múltiplos níveis de controle e configuração em qualquer processo.

Desta forma, um sistema SCADA proporciona uma interface mais fácil e intuitiva para o operador final, exibindo cada elemento presente, e proporcionando por meio de telas toda a operação e controle do processo.

## **4 MICROGRIDS E O SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO NO BRASIL**

### **4.1 REGULAÇÃO DAS FONTES RENOVÁVEIS E DAS MICROGRIDS**

No Brasil, a ANEEL é responsável pela qualidade da energia elétrica. Em 2004, regulamentou-se a Geração Distribuída com a Lei nº 10.848 [21] e o Decreto nº 5.163 [22]. Em 2010, aprovou-se a Resolução Normativa nº 414 [23], com as condições gerais de fornecimento de energia.

Em 2012, aprovou-se a Resolução Normativa nº 482 [24], que estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Nesta resolução, criou-se o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, permitindo que a unidade consumidora injete a energia ativa produzida à rede da distribuidora local, trocando a energia líquida excedente por créditos em energia (kWh) para posteriormente serem compensados na tarifa dos meses de menor geração, tornando-se assim, um sistema simples de contabilização de energia.

Em novembro de 2015, aprovou-se a Resolução Normativa nº 687 [25], que aprimorou a REN nº 482, tendo como metas a redução dos custos e o tempo para a conexão da micro e minigeração e compatibilização do Sistema de Compensação de Energia Elétrica com as Condições Gerais de Fornecimento (Resolução Normativa nº 414/2010 – [23]).

Dentre as modificações efetuadas, destacam-se a validade dos créditos com a distribuidora local, que passou de 36 meses para 60 meses, e possibilidade da utilização destes em outras unidades consumidoras com a condição de que tenham o mesmo titular e estejam operando com a mesma distribuidora. Esta forma de utilização dos créditos por outras unidades e mesmo titular, denominou-se autoconsumo remoto.

Outra mudança ocorrida refere-se na subdivisão das unidades de microgeração e minigeração, denominando-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada inferior a 75kW, a qual antes era de até 100kW; e minigeração para potência acima de 75kW e inferior a 5MW (exceto para geração com fonte hídrica, com máximo de 3MW), a qual era para potência acima de 100kW e inferior a 3MW.

Ainda, na REN nº 482 para a microgeração e minigeração previa-se uso de fontes com base apenas em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa e cogeração qualificada, e na REN nº 687 ampliou-se para fontes renováveis e cogeração qualificada, possibilitando assim, o uso de qualquer fonte renovável, como células de hidrogênio.

Outras novas regras criadas propiciaram inovações, como na geração em empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras, referentes à instalação de geração distribuída em condomínios, e geração compartilhada proporcionando a união de interessados em cooperativas e consórcios.

Desta forma, a energia gerada pelos condomínios é distribuída em porcentagem definida pelos próprios usuários, desde que ocupem uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas. E no caso de geração compartilhada, permite-se que a unidade consumidora com micro ou minigeração, esteja em local distinto das unidades consumidoras, desde que operando com a mesma distribuidora, e utilize o sistema de compensação de energia.

Estas duas inovações podem propiciar um aumento no uso de microgrids, e consequente necessidade de automação mínima para atender aos requisitos técnicos e de qualidade estabelecidos pela ANEEL e pela distribuidora local.

#### **4.2 ACESSO AOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO**

As unidades consumidoras com micro ou minigeração distribuída podem operar em modo de ilha, desconectadas do Sistema Interligado Nacional, desde que desconectadas fisicamente da rede de distribuição. Para operarem conectadas ao sistema de distribuição é de responsabilidade da unidade consumidora solicitar acesso ao sistema de distribuição à distribuidora local titular.

Com a conexão ao sistema de distribuição, deve-se adequar o sistema de micro e minigeração aos requisitos técnicos, tendo como referência os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, as normas técnicas brasileiras, as normas da distribuidora local, e como referência complementar, as normas internacionais.

O PRODIST tem como meta estabelecer as condições de acesso, compreendendo a conexão e o uso ao sistema de distribuição, definindo os critérios técnicos e operacionais e os requisitos de projeto, aplicando-se aos interessados em novo acesso e aos já existentes.

Em relação aos contratos que devem ser firmados pelas partes acessante e distribuidora se preveem para microgeração um contrato de Relacionamento Operacional constante no ANEXO I da Seção 3.7, e para minigeração um contrato de Acordo Operativo nos termos do ANEXO I da Seção 3.5. [11]

Nestes contratos deve-se fazer referência ao Contrato de Adesão, Contrato de Fornecimento ou Contrato de Compra de Energia Regulada para a unidade consumidora, participando assim do sistema de compensação de energia elétrica da distribuidora local.

Conforme o PRODIST, as etapas e prazos do procedimento de acesso que devem ser seguidos pelo consumidor e pela distribuidora para micro e minigeração seguem abaixo:

- Consulta de acesso pelo solicitante – Facultativo para micro e minigeração distribuída, e em caso de consulta para usinas eólicas, o acessante deve apresentar o Despacho da ANEEL;
- Informação de acesso, que é a resposta da consulta de acesso pela distribuidora, com prazo de até 60 dias;
- Solicitação de acesso pelo acessante, contendo o Formulário de Solicitação de Acesso para microgeração e minigeração distribuída constante nos Anexos II, III e IV da Seção 3.7 do PRODIST;
- Emissão de parecer pela distribuidora - Contendo informações gerais relacionadas ao ponto de conexão, características do sistema de distribuição acessado e requisitos técnicos, como tensão nominal de conexão, e padrões de desempenho, e informações sobre os sistemas de proteção, controle e telecomunicações disponíveis. Deve-se estar anexo o modelo de Acordo Operativo para minigeração ou de Relacionamento Operacional para microgeração. O prazo para parecer de microgeração quando não há obras é de 15 dias e com obras de 30 dias, enquanto que para minigeração o prazo para quando não há obras é de 30 dias e quando há obras de 60 dias.
- Instalação da micro ou minigeração pelo acessante e solicitação de vistoria pelo acessante, com prazo de 120 dias após o parecer;
- Realização da vistoria pela distribuidora, com prazo de 7 dias;
- Entrega de relatório com pendências pela distribuidora, com prazo de 5 dias;
- Regularização de aspectos técnicos pelo acessante;
- Aprovação do ponto de acesso, troca para medição bidirecional e início do sistema de compensação pela distribuidora, com prazo de 7 dias.

Ressalta-se ainda que em caso de necessidade de estudos para a integração da microgeração ao sistema de distribuição, é de inteira responsabilidade da distribuidora a realização de todos estes estudos, sem custos ao acessante.

### 4.3 REQUISITOS DE PROJETO E CONDIÇÕES DE DESEMPENHO E QUALIDADE

Os projetos das instalações de conexão devem seguir os critérios estabelecidos na Seção 3.7 do PRODIST e nas Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica contidos na REN nº 414/2010.

A quantidade de fases e o nível de tensão são definidos pela distribuidora local. Desta forma, no Rio Grande do Sul, a CEEE-D, AES Sul e RGE trabalham com tensão em corrente alternada, na frequência de 60hz nas tensões nominais de 380/220V, 220/127V e 220V, e definem 3 possíveis esquemas de conexão:

- Monofásico fase-neutro;
- Bifásica, com conexão do neutro;
- Trifásicos em estrela, com conexão do neutro.

Em relação aos pontos de conexão, tem-se como referência a Tabela 1.

Tabela 1: Requisitos de projeto no ponto de conexão. Adaptado de PRODIST. [11]

Equipamento	Potência Instalada		
	Menor ou igual a 75kW	Maior que 75kW e menor ou igual a 500kW	Maior que 500kW e menor ou igual a 5MW
Elemento de Desconexão <sup>1</sup>	Sim	Sim	Sim
Elemento de Interrupção	Sim	Sim	Sim
Transformador de acoplamento	Não	Sim	Sim
Proteção de sub e sobretensão	Sim	Sim	Sim
Proteção de sub e sobrefrequência	Sim	Sim	Sim
Proteção contra desequilíbrio de corrente	Não	Não	Sim
Proteção contra desbalanço de tensão	Não	Não	Sim
Sobrecorrente direcional	Não	Sim	Sim
Sobrecorrente com restrição	Não	Não	Sim

de tensão			
Relé de sincronismo	Sim	Sim	Sim
Anti-ilhamento <sup>2</sup>	Sim	Sim	Sim
Medição	Sistema de Medição Bidirecional	Medidor 4 Quadrantes	Medidor 4 Quadrantes

Notas de interesse:

- (1) Não é necessário elemento de desconexão próprio para microgeradores e minigeradores que se conectem à rede através de inversores.
- (2) A proteção anti-ilhamento deve garantir desconexão física total entre a geração própria e a rede de distribuição, sendo proibida a conexão ao sistema durante interrupção do fornecimento de energia.

Ao utilizarem-se inversores para conexão com a rede de distribuição, o acessante deve apresentar certificados que estes foram ensaiados e aprovados conforme normas nacionais ou internacionais, sendo que as proteções constantes na Tabela 1 podem estar inseridas no inversor, sem necessidade de redundância de proteção.

Em relação às condições de desempenho e aos critérios de qualidade, estes são válidos independente da microgrid estar ilhada ou conectada ao SIN. No Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica do PRODIST define-se a faixa de frequência aceitável entre 59,9Hz e 60,1Hz em regime permanente, sendo válido para sistemas de distribuição e instalações de geração conectada à microgrid.

Na ocorrência de distúrbios no sistema de distribuição, as instalações de geração, como as microgrids, devem garantir que a frequência retorne para a faixa entre 59,5Hz a 60,5Hz no prazo de 30 segundos.

Em relação aos valores de tensão, define-se como aceitável a faixa de tensão entre 0,93pu e 1,05pu do valor nominal em regime permanente para os pontos de conexão em tensão nominal até 69kV.

#### **4.4 MEDIÇÃO DO CONSUMO DA ENERGIA ELÉTRICA**

Conforme as especificações técnicas do PRODIST, no sistema de medição para microgeração distribuída, a distribuidora local é a responsável técnica e financeira pelos custos dos componentes requeridos para o sistema de compensação de energia elétrica,

enquanto que no sistema de medição para a conexão de minigeração distribuída e de geração compartilhada os custos de adequação são de responsabilidade do acessante.

Depois de realizada a adequação do sistema de medição, em ambos os casos a distribuidora é a responsável pela operação e manutenção da medição, incluindo os custos de eventual substituição ou adequação.

No faturamento da energia elétrica consumida, seguem-se os procedimentos estabelecidos no art. 7º da Resolução Normativa nº 482/2012. A energia injetada em determinado posto tarifária (ponta, fora de ponta ou intermediário), é primeiramente utilizada para compensar a energia consumida no mesmo posto tarifário, e em caso de haver ainda energia excedente é utilizada para compensação em outro posto tarifário.

## 5 AUTOMATIZAÇÃO E SUPERVISÃO DA MICROGRID NO IIE

Neste capítulo descreve-se a metodologia de desenvolvimento dos sistemas de automação e supervisão da microgrid baseada em energias renováveis desenvolvidos no IIE. Durante a realização deste projeto, que iniciou dia 03 de março de 2015 e terminou dia 31 de julho de 2015, teve-se a supervisão do Engenheiro Mecânico Dr. Carlos Vargas Salgado.

O IIE encontra-se localizado dentro da Universitat Politècnica de València – UPV, na Espanha. Este realiza estudos e projetos na área de energias renováveis, contando com fonte solar, eólica, biomassa e células de hidrogênio, além de projetos com microgrids.

Para este projeto, os equipamentos utilizados constam na Seção 5.1, os programas utilizados na Seção 5.2 e a Microgrid disponível no IIE consta na Seção 5.3. e os critérios de projeto constam na Seção 5.4

Antes de iniciar este projeto, já existia o projeto da Vellucci [26], uma aluna da Itália, em programa de intercâmbio na UPV, que havia desenvolvido em um semestre anterior o sistema de automação e supervisão da planta de gaseificação de biomassa. Neste, ela automatizou a planta de gaseificação com o CJ2M e também a leitura dos medidores Sentron PAC, os quais com pequenas modificações puderam ser aproveitados neste projeto maior, que consiste na automatização de toda a planta microgrid, e assim, engloba a planta de gaseificação de biomassa, que é uma das 3 fontes geradoras disponíveis.

Como já mencionado anteriormente, o projeto desenvolvido consta de dois subprojetos, do sistema de automação e o de supervisão, os quais serão descritos respectivamente nas Seções 5.5 e 5.6. Para estes, empregou-se método experimental como metodologia.

### 5.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Segue abaixo os equipamentos utilizados e em seguida suas descrições.

1 – CLP CJ2M – Omron;

1 – CLP CP1L – Omron;

1 – Inversor/Conversor Híbrido Xantrex XX4548 – Schneider Eletric;

1 – Conext ComBox– Schneider Electric;

2 – Medidores de Potência Sentron PAC3200 – Siemens;

4 – Medidores de Potência PM710 – Schneider Eletric;

8 – Contatores;

1 – Computador sistema operacional Windows.

CLP CJ2M – É utilizado para automatizações gerais, possui interface para comunicação USB, Ethernet e RS-232C/422/485. Possui número de identificação que pode ser ajustado entre 0 e F, necessário para comunicação TCP/IP. Possui um módulo ETN21, que possibilita a comunicação TCP/IP por meio de 8 sockets, e assim, estabelece a comunicação entre o CLP e cada dispositivo. Neste projeto utilizou-se comunicação USB primeiramente para configuração do CLP e em seguida Ethernet para toda a operação [27][28].

CLP CP1L – É utilizado para automatizações gerais, possui comunicação Ethernet e Serial. Neste projeto utiliza-se conexão Ethernet [29][30].

Xantrex XX4548 – É um Inversor/Conversor Híbrido que incorpora um inversor CC-CA, capaz de operar com a rede elétrica ou independente. Este equipamento realiza a interface entre a planta de gaseificação e as fontes renováveis na entrada e pode gerar na saída um sinal senoidal CA de 120/240V, com frequência configurável. Ainda, trabalha com um conversor CC-CC para conectar-se com as baterias, podendo as baterias fornecer energia ou serem carregadas. Este equipamento possui protocolo de comunicação próprio Xanbus. Neste, realiza-se a leitura e escrita de registradores do endereço 0 a 700d. O manual do usuário pode ser acessado em [31] e os mapa dos endereços Modbus podem ser acessados em [32], que é da interface com o Conext ComBox.

Conext ComBox – Estabelece a comunicação entre o Xantrex e os outros aparelhos, pois converte o protocolo de comunicação próprio Xanbus para Modbus TCP/IP e RS485. Dentre estes, utilizou-se o protocolo TCP/IP, utilizado para todos os equipamentos. Este ainda fornece uma interface de monitoramento para a planta solar [32][33].

Sentron PAC3200 – É um aparelho monitor de potência, que mede cerca de 50 parâmetros, sendo de principal interesse a potência, tensão, corrente e energia. Dispõe de comunicação Modbus RTU e TCP, e pode ser configurado por meio de uma tela HMI, configurando, por exemplo, o IP. Neste, realiza-se a leitura dos registros de 0 a 74d e de 800d a 840d [34][35].

PM710 – São equipamentos medidores de potência utilizados para monitorarem instalações elétricas. Possuem alta exatidão e podem ser utilizados para tensões de até 480V CA. Na microgrid há quatro destes, com diferentes números de identificação (ID). Neste, realiza-se a leitura dos registros de 4000d a 4054d [36][37].

## 5.2 PROGRAMAS UTILIZADOS

Segue abaixo a lista dos softwares utilizados e em seguida breve descrição.

Multiway V10.0 – Omron;

CX-Programmer – Omron;

CX-Supervisor – Omron.

Em razão de utilizar os CLPs da Omron, utilizaram-se seus softwares próprios. O Multiway utilizou-se para testar a conexão de cada aparelho, verificando a leitura e escrita em cada dispositivo diretamente do computador [38].

O CX-Programmer utilizou-se na automatização, para programar em linguagem ladder [39], e o CX-Supervisor utilizou-se no sistema supervisório SCADA [40][41].

## 5.3 MICROGRID NO IIE

Os sistemas de fontes energéticas disponíveis no momento para utilizar na microgrid do IIE eram sistema solar, eólico e planta de gaseificação de biomassa, que são descritos a seguir.

O sistema solar é composto de painéis solares conectados a um inversor Xantrex GT de 2.5kW. A corrente flui em CC dos painéis solares até o inversor, e em CA do inversor até o Xantrex ou diretamente à rede elétrica.

O sistema eólico é composto de uma turbina com potência máxima de 5kW conectada a um retificador, que por sua vez é conectado a um inversor, e possui um medidor de potência PM710 para monitorar esta geração de energia. Este sistema pode ser conectado direto à rede elétrica ou ao Xantrex.

A planta de gaseificação de biomassa é composta por um gaseificador de 50kWh conectado a um gerador de 10kW. Constam 2 Sentron PAC neste sistema, um na entrada e outro na saída para monitorarem o consumo e geração deste sistema. Esta planta é conectada diretamente ao Xantrex.

Antes da entrada desta energia das fontes renováveis ao Xantrex, tem-se um PM710 para medir a geração de energia. Assim como entre a conexão do Xantrex com a rede elétrica, tem-se outro PM710.

Na Espanha, tem-se na rede elétrica tensão de 230V e frequência de 50Hz, as quais são também utilizadas internamente na microgrid quando for CA. Para o armazenamento de energia, dispõe-se de um conjunto de baterias com capacidade total de 12kWh.

Para testes, tem-se cargas resistivas de 1kW e 2kW que podem ser conectadas à saída do sistema, simulando cargas elétricas. Neste, tem-se um PM710 entre o Xantrex e as cargas para medir o consumo.

A Figura 3 apresenta o esquemático da microgrid utilizada no projeto.

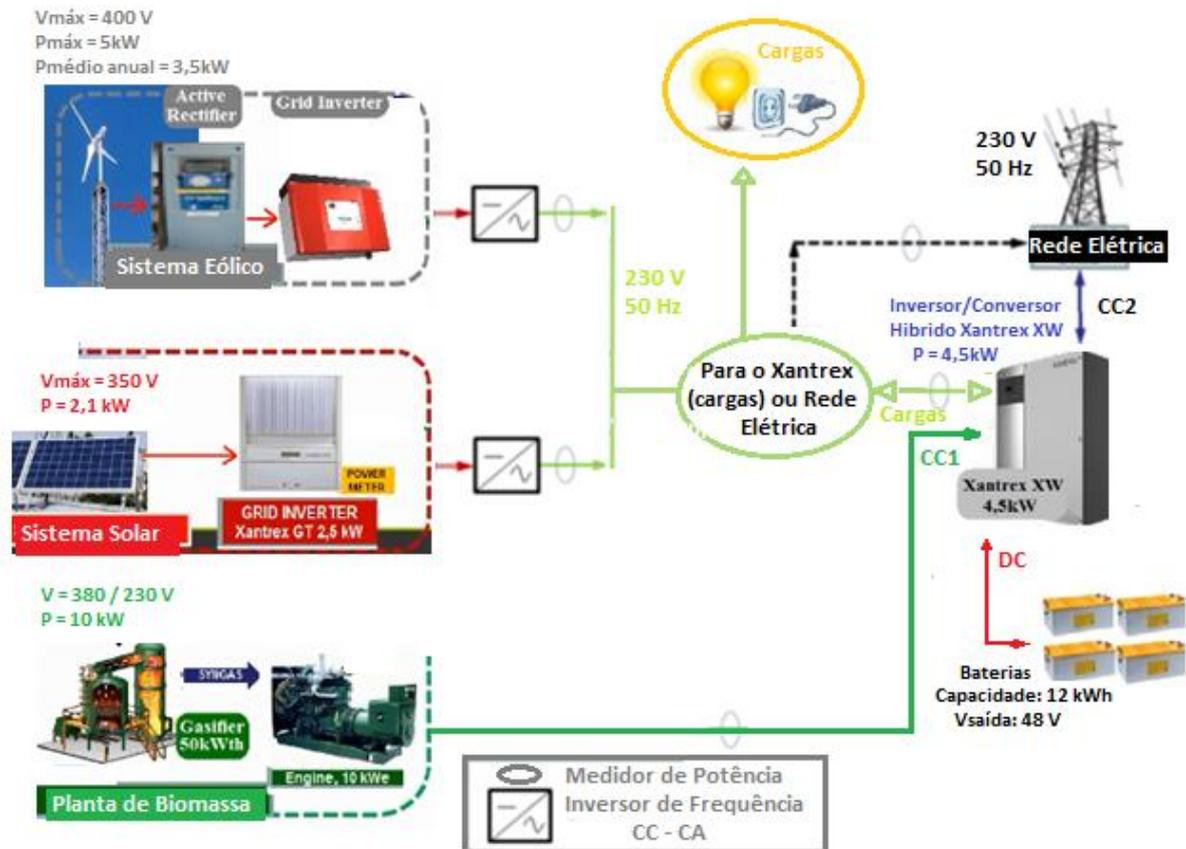


Figura 3: Microgrid no IIE - Modificada do IIE [03]

Mais informações a respeito da planta podem ser obtidas com a IIE em [03].

#### 5.4 OBJETIVOS E CRITÉRIOS DE PROJETO

Para a realização destes sistemas seguiram-se os seguintes critérios no projeto:

Automação dos CLPs em linguagem Ladder, por ser de rápida aprendizagem;

Comunicação dos CLPs com os outros equipamentos por Modbus TCP/IP, por ser um protocolo de comunicação de uso livre e amplamente utilizado na indústria;

Automação dos CLPs para a leitura e escrita de dados dos registradores dos medidores de potência e outros equipamentos conectados à microgrid;

Automação dos CLPs para realizar o acionamento de contadores;

Programa SCADA com telas de fácil entendimento da operação da microgrid;

Programa SCADA para visualizar e configurar os dados nos registradores dos aparelhos conectados à microgrid;

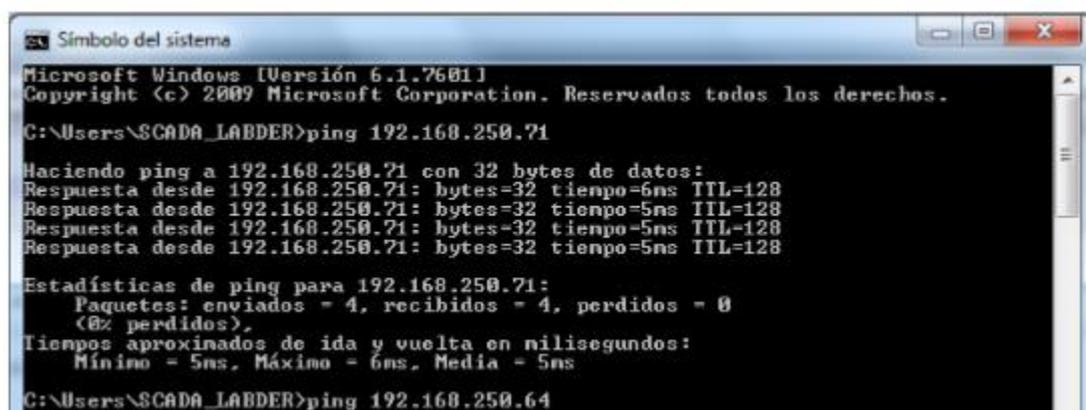
Ensaio e testes de funcionamento do sistema de automação e supervisão com a microgrid em operação normal.

## 5.5 AUTOMAÇÃO

Iniciou-se o projeto de automação com a programação dos CLPs em linguagem ladder, por meio do software Cx-Programmer. O CLP CJ2M foi utilizado para leitura dos registros do Xantrex, dos medidores Sentron PAC e dos PM710, enquanto que o CP1L utilizou-se para o controle das 8 chaves contadores. Como se aproveitou o que já havia da automatização da planta de gaseificação, manteve-se o CJ2M e adicionou-se o CP1L-E ao projeto. Assim, no mesmo projeto os dois CLPs operam em conjunto paralelamente.

Em seguida, verificaram-se os IPs disponíveis, por meio de teste ping, e configurou-se o endereço IP de cada um dos equipamentos conectados na Ethernet da microgrid. Nestes, todos devem ter os mesmos 3 primeiros octetos para toda a rede do IIE, sendo estes 192.168.250.x. O último octeto deve ser único para identificação, diferente para cada aparelho conectado à rede.

Este teste de ping é por meio do prompt de comando do Windows, funcionando o computador como mestre. Para isto, realiza-se uma Query para o respectivo endereço dado à função ping. Como exemplo, tem-se a Figura 4 que realiza ping do endereço IP 192.168.250.71, o qual é utilizado para a comunicação com um Sentron PAC.



```
Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

C:\Users\SCADA_LABDER>ping 192.168.250.71

Haciendo ping a 192.168.250.71 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.250.71: bytes=32 tiempo=6ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.250.71: bytes=32 tiempo=5ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.250.71: bytes=32 tiempo=5ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.250.71: bytes=32 tiempo=5ms TTL=128

Estadísticas de ping para 192.168.250.71:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
            (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 5ms, Máximo = 6ms, Media = 5ms

C:\Users\SCADA_LABDER>ping 192.168.250.64
```

Figura 4: Ping por meio do Prompt de comando

Quando não há nenhum equipamento com o IP buscado pelo ping, este não retorna resposta. Quando há o equipamento, este retorna um pacote de dados com seu tempo de

resposta. Como se pode ver na Figura 4, por meio da configuração do Sentron PAC ajustou-se corretamente o endereço IP desejado.

Desta forma, via configuração própria em cada equipamento, configurou-se no CJ2M o endereço 192.168.250.3, para o Xantrex o IP 192.168.250.64 com endereço Modbus 6Ax0, para os Sentron PAC os endereços 192.168.250.70 e 192.168.250.71, e para os 4 PM710 o IP 192.168.250.68 com os endereços Modbus 3, 4, 5 e 6.

Além de realizar o teste de ping para verificar o IP disponível, e para verificar a correta configuração do dispositivo, realizaram-se testes em cada aparelho pelo Multiway. Neste teste, verificou-se a correta leitura e escrita de dados nos registradores com o Multiway, sendo o computador o mestre. Desta forma, assegura-se que esta parte está correta, e que em caso de não funcionar a leitura ou escrita de dados com o CLPs, seria erro na aplicação, e não na configuração do IP para comunicação. Na Figura 5, tem-se o teste realizado com o Xantrex.

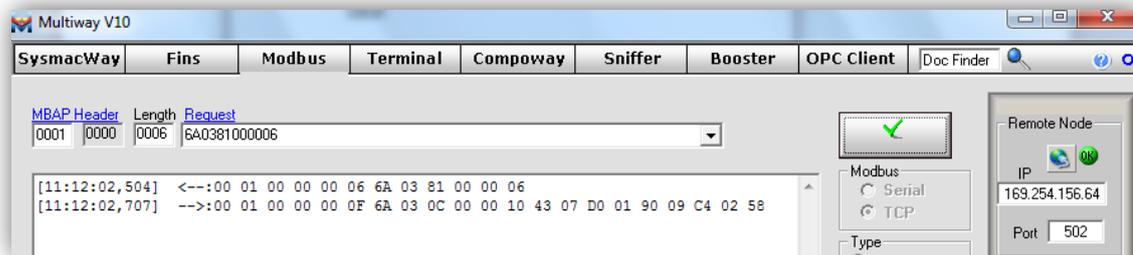


Figura 5: Teste Multiway

Em seguida, conferiu-se o espaço de memória disponível, tendo-se em vista o uso da memória para a planta de gaseificação. O CJ2M possui cinco espaços de memória, de A a E, sendo os dois primeiros para uso interno. Por orientação do supervisor, decidiu-se manter todos os dados lidos em um espaço de endereços de memória, que escolheu-se o espaço D, que consta de 6144 bytes com aproximadamente 3800 bytes livres.

Depois, os primeiros passos da automatização com a programação em linguagem ladder envolveram comandos básicos, como adição de linhas de código, contatos de entrada, saídas e blocos de função. Na Figura 6 tem-se um exemplo de uma linha de código, com alguns contatos de entrada e uma saída.

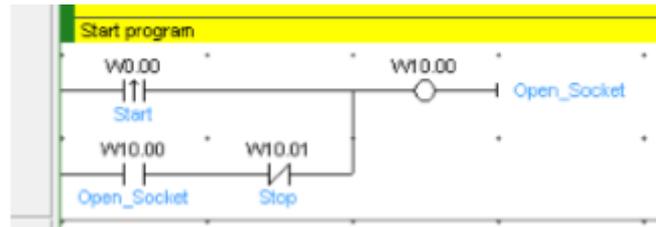


Figura 6: Linha de código em Linguagem Ladder

Os contatos de entrada são associados a variáveis booleanas e a bits de registros. Estes contatos podem ser de diferentes tipos, apresentando distintos comportamentos para o acionamento, sendo que se utilizaram os seguintes: normalmente aberto, em que se encontra o contato desativado até que o bit associado ao contato seja ativado; normalmente fechado, em que se encontra o contato ativado até que o bit associado ao contato seja ativado; pulso de subida, o qual manterá o contato em nível alto por um ciclo do CLP quando o bit associado ao contato for ativado; pulso de descida, o qual manterá o contato em nível baixo por um ciclo do CLP quando o bit associado ao contato for ativado; *first\_cycle*, o qual estará ativo no primeiro ciclo do CLP; e *always\_on*, o qual se mantém em nível alto durante toda a operação do programa.

Na Figura 6 tem-se como exemplo o bit 0 do registro W0 que é um contato de pulso de subida, e os bits 0 e 1 do registro W10 associados a contatos normalmente aberto e normalmente fechado, respectivamente. Na saída, tem-se novamente o bit 0 do registro W0, sendo assim implementado como contato de entrada e saída para fazer uma realimentação, para desta forma, quando for ativado manter-se assim até caso contrário, como o imposto pelo bit 1 de W10.

Prosseguindo, têm-se os blocos de função, que podem ser divididos em básicos e em específicos. Geralmente estes específicos são fornecidos diretamente pelos fabricantes, enquanto que básicos são para manipulações gerais mais complexas de registros. Os blocos básicos utilizados constituem-se nos seguintes: *SET*, o qual coloca em nível alto o bit do registro; *RSET*, o qual coloca em nível baixo o bit do registro; *MOV*, o qual move um valor inteiro (16 bits) para outro registro; *MOVL*, o qual move um valor inteiro longo (32 bits) para outro registro; *TIM*, o qual possui um contato de entrada que ao ser ativado, acionará outro registro na saída depois de certo tempo pré-definido; de comparação, consistindo da comparação entre dois valores, sendo estas comparações de igual ( $==$ ), diferente ( $<>$ ), maior ( $>$ ) e menor ( $<$ ).

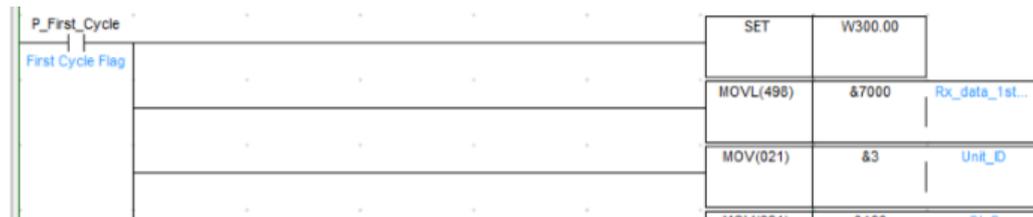


Figura 7: Blocos de Função básica

Na Figura 7 tem-se uma linha de código exemplificando alguns destes blocos de função básica. Nesta, tem-se um contato *firsty\_cycle*, que acionara esta linha apenas no primeiro ciclo do CLP, e por meio de *SET* o registrador *W300.00* é colocado em nível lógico alto. Através de *MOVL* o valor 7000, em decimal, é movido ao registrador que foi renomeado *Rx\_data\_1st*, e com *MOV* o valor 3 é movido ao registro *Unit\_ID*.

Os blocos de função específicos utilizados concentram-se em abrir a comunicação TCP por meio dos sockets, e leitura e escrita dos registros, os quais são descritos a seguir, em conjunto com seu uso. Maiores informações sobre os blocos de funções da Omron podem ser obtidos em [42].

*MODBUS\_TCP\_Connect* é um bloco de função disponibilizado pela OMRON France para estabelecer comunicação do CLP com os outros aparelhos. Este bloco consta na Figura 8, possuindo 8 registros de entrada e 4 de saída. Nas entradas, tem-se o pino *EN (Enable)*, para ativação do bloco, com o qual se colocou um contato *always\_on* para sempre manter a comunicação habilitada. A entrada *Unit\_No* possuirá o número de identificação ID do CLP. O número do socket (*Socket\_No*) possui o número associado ao socket para leitura do CLP. A entrada booleana *Open\_Socket* é o pino para ativação da comunicação, ativando o socket quando este pino possuir nível alto. E as últimas 4 entradas referem-se aos 4 valores que formam o endereço IP do registrador.

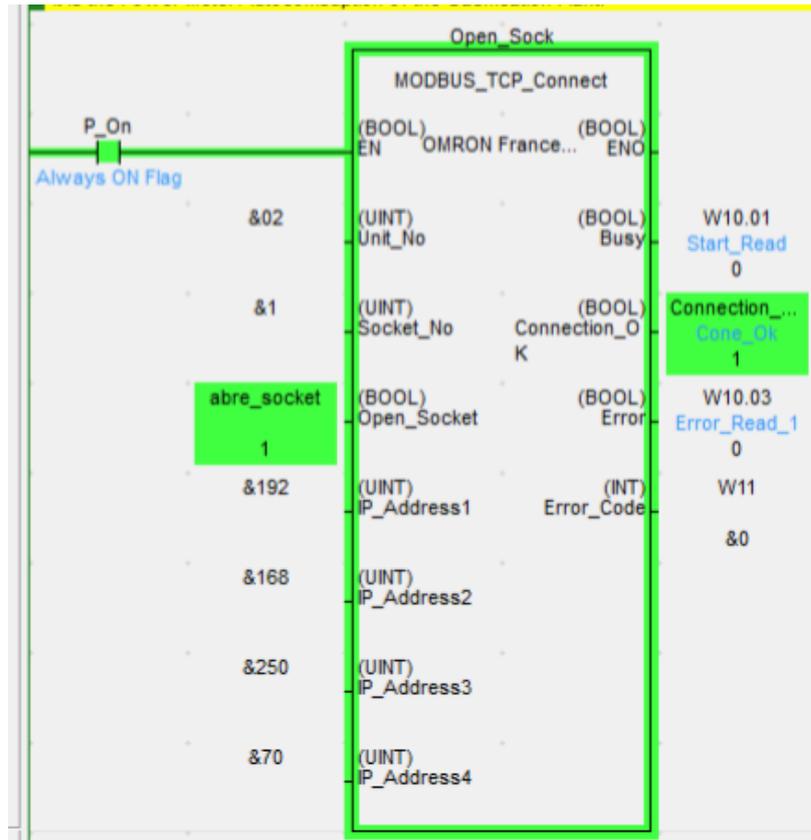


Figura 8: Bloco de função para estabelecer comunicação

Este bloco foi utilizado para estabelecer a comunicação do CJ2M com um dos Sentron PAC. O qual teve seu endereço de IP previamente definido via configuração própria no Sentron PAC.

O segundo bloco de função utilizado refere-se a leitura dos registros, a qual é possível apenas depois de estabelecida a conexão por meio do socket. Este bloco é o *MODBUS\_TCP\_Fn\_03*, o qual pode ser visualizado na Figura 9. Este utiliza a função de leitura número 3 do protocolo padrão de comunicação TCP IP, para leitura de registradores em geral. É um bloco de função que realiza a leitura de um conjunto de registros, sendo possível uma leitura por vez, e possui 11 entradas e 4 saídas [43].

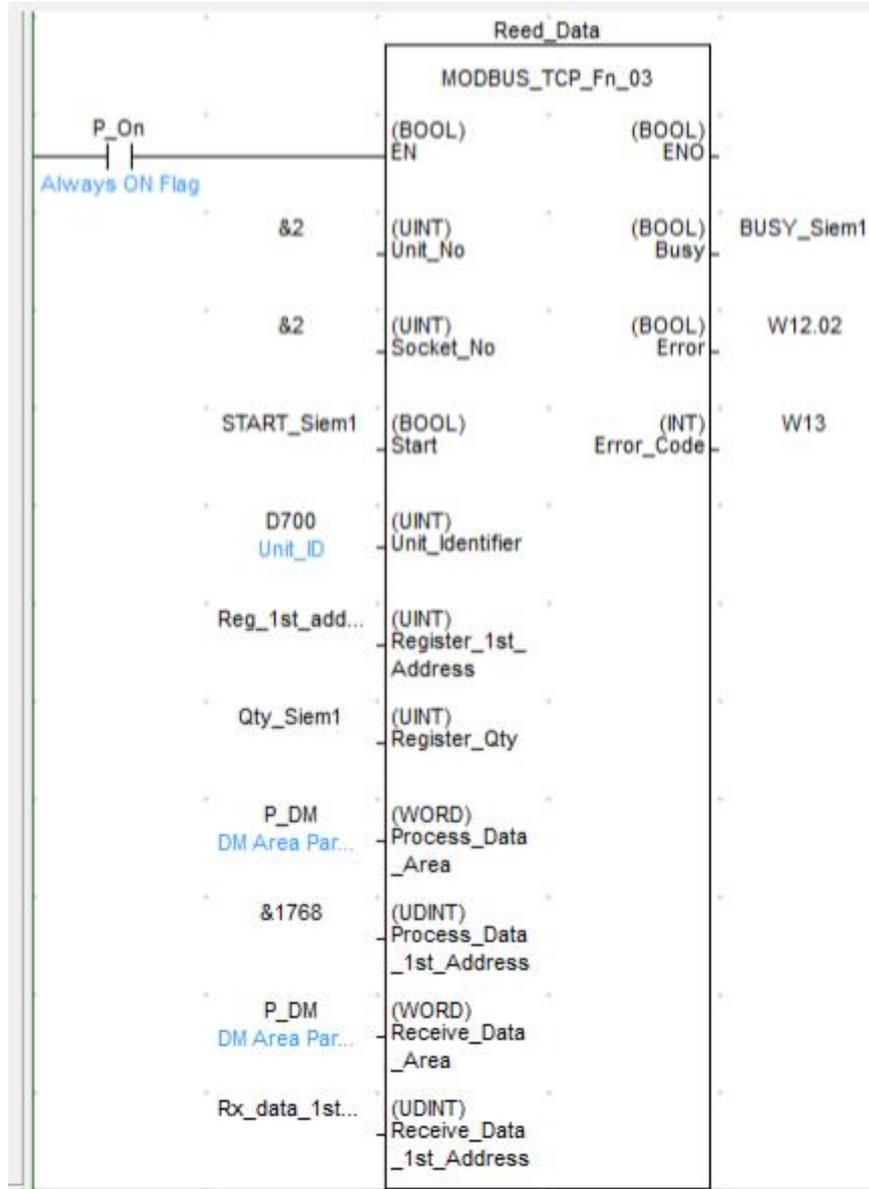


Figura 9: Bloco de Função de Leitura

A primeira entrada deste bloco é uma entrada booleana *EN*, para habilitar o funcionamento do bloco. Nota-se que todos estes blocos da Omron possuem este tipo de entrada para habilitar a operação. O segundo número é o número da unidade (*Unit\_No*), o qual serve para identificar a unidade do CLP, o qual foi configurado previamente no CJ2M como 2 e deverá ser utilizado para todos os registros lidos por este CLP. A próxima entrada (*Socket\_No*) contém o número do socket de qual este bloco realizará a leitura dos registros.

A quarta entrada é da inicialização da operação do bloco (*Start*), sendo este o comando para iniciar a leitura dos registros. A próxima entrada (*Unit\_Identifier*) refere-se ao número de identificação do equipamento que será lido. Este número é necessário em razão do bloco de função *MODBUS\_TCP\_Connect* estabelecer a conexão por meio do endereço IP, o qual pode

ser um equipamento que disponha de mais equipamentos conectados que mudam apenas o número de identificação.

A próxima entrada, *Register\_1st\_Address*, contém o endereço do primeiro registro que será lido pelo socket. *Register\_Qty* informará quantos registros devem ser lidos, a partir do primeiro registro informado na entrada anterior. As próximas três entradas não são de grande interesse, pois se referem a espaços internos necessários para o processamento dos dados recebidos, sendo assim, é apenas necessário colocar nestas entradas um registro de memória com espaço livre subsequente na mesma quantidade de registros a serem lidos. A última entrada é de interesse, pois se refere ao endereço na memória do CLP do primeiro registro onde serão armazenados os dados lidos pelo socket.

Em relação às saídas, este bloco possui 4, sendo que apenas 3 são de interesse para este projeto e foram utilizadas. A saída *Busy* informa por meio de um bit se o bloco de função está sendo utilizado ou está disponível, e assim, este estará em nível alto enquanto estiver sendo utilizado. A saída *Error* é um bit de indicação de quando houver erro na leitura, indicando com nível alto a ocorrência de erro na leitura por este bloco. E a saída *Error\_code*, é um inteiro com o código de identificação do erro ocorrido. Na Tabela 1, tem-se os possíveis códigos de identificação do erro.

Tabela 1: Códigos de erro de leitura

Hexa	Decimal	
&h8720	2210	Specified socket is not open
&h8721	2211	Unit is busy; cannot execute
&h9735	2607	Specified socket service parameter is already being used for another socket
&h0770	0302	CPU Unit error; cannot execute
&hFFFF	65535	Parameter error in the function block

Este bloco foi utilizado no CLP CJ2M para leitura dos registradores Xantrex, dos dois Sentron PAC e dos PM710. Assim, cada um destes equipamentos possui um bloco de função específico *MODBUS\_TCP\_Connect* para estabelecimento da conexão com um socket, e um respectivo bloco *MODBUS\_TCP\_Fn\_03* que realiza a leitura dos registros através do socket aberto. Desta forma, em conjunto com a Tabela 1 observa-se os erros que ocorreram com suas respectivas soluções:

- Atraso na abertura do socket, e desta forma, impossibilidade de leitura do registro. Este problema foi resolvido impondo que apenas seja possível a solicitação de leitura de registro depois de realizada a abertura do socket e que a conexão esteja estabelecida (*Connection\_Ok*).

- Solicitação de leitura pelo bloco antes do término da leitura anterior. Para isto, mediu-se o tempo de leitura em cada conjunto de registros lidos, por meio do software

Multiway, ao realizar-se mesma solicitação de leitura por este software, o qual indica o tempo de resposta. E desta forma, obteve-se um tempo máximo de 120ms para leitura dos registros para o Xantrex, os Sentron PAC e os PM710. Assim, em razão de necessitar atualização dos valores a cada 1s nos Sentron PAC que contam com dois blocos de interesse, pode-se aumentar o tempo entre leituras para 500ms. Ainda, colocou-se o contato normalmente fechado de Busy, o qual está demonstrado na Figura 10. Nesta figura tem-se ainda demonstrado o tempo entre leituras, que é imposto por um contato de pulso de subida a cada 500ms.

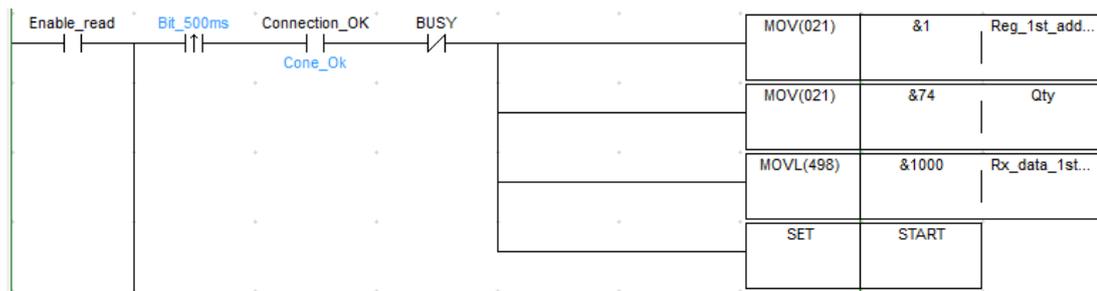


Figura 10: Contatos para solução de alguns erros

Na Figura 10 tem-se a lógica implementada para o comando de leitura, que é realizada com as seguintes condições: a conexão do socket está habilitada (*Connection\_Ok*), a comunicação está estabelecida sem erros (*Enable\_read*) e o bloco de leitura não está sendo utilizado (*Busy*). A partir destas condições satisfeitas, a cada 500ms ocorre um pulso de subida (*Bit\_500ms*) que fecha a linha de código, e assim, serão realizados os comandos de saída. Estes comandos são: mover o número 1 para *Reg\_1st\_address*, que estabelece que o primeiro registro a ser lido seja o 1; mover 74 para a *Qty*, que é quantidade de registros a serem lidos; mover 1000 para *Rx\_data\_1st\_address*, que é endereço de memória em que serão armazenados os dados recebidos; e iniciar a leitura por meio do nível alto em *Start*.

O próximo bloco de função de relevância a ser descrito é o *MB\_TCP\_Fn\_10*, o qual utiliza a função 10 de escrita do protocolo padrão Modbus TCP/IP, e pode ser visualizado na Figura 11. Este bloco realiza a escrita de um conjunto de registros, possuindo entradas e saídas semelhantes do bloco anterior, que realiza a leitura de conjunto de registros. Em relação ao bloco de leitura, igualmente deve-se fornecer o número da unidade, do socket e de identificação. Nota-se que há diferença em duas entradas, *Register\_1st\_Address* e *Send\_Data\_1st\_Address*, os quais representam respectivamente o endereço do primeiro registro do aparelho que será escrito, e o endereço do primeiro espaço de memória no CLP dos dados a serem enviados.

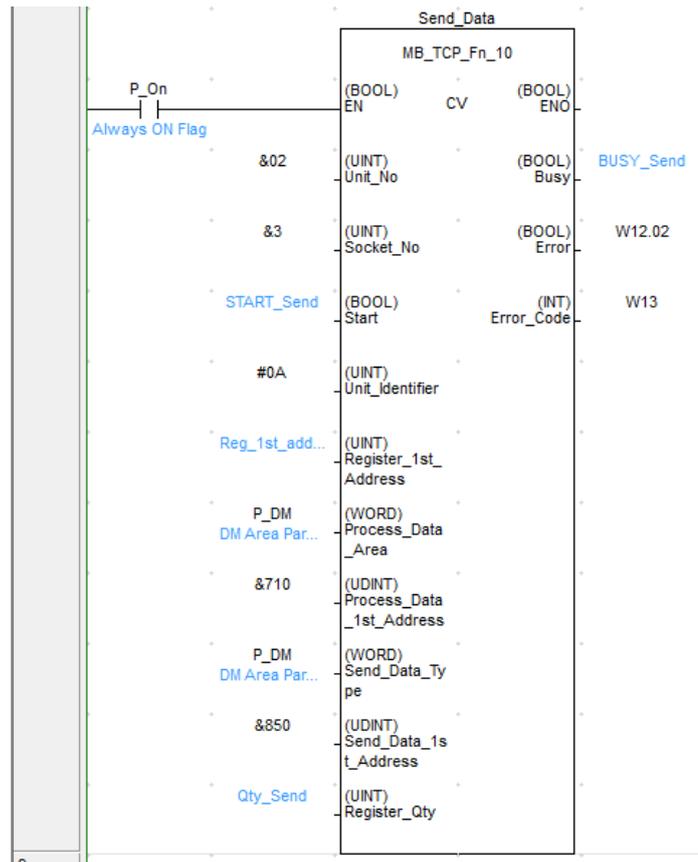


Figura 11: Bloco de Função de escrita

Na Figura 11, tem-se exemplificado a escrita no Xantrex, o qual se conectou por meio da unidade 2, com o socket 3, e possui configurado como endereço Modbus o número de identificação 0x0A. Os dados são escritos no endereço de memória fornecido por *Register\_1st\_Address*, sendo que se tiveram como dados de interesse os registros compreendidos entre os endereços 0 e 720. Para realizar a escrita dos dados, previamente colocava-se o array de dados no endereço a partir do endereço 850 da memória interna do CLP. Desta forma, ao ser habilitada o envio de dados, por meio de *Start*, este bloco enviava todos os dados a partir de 850 do CLP até a quantidade dada por *Register\_Qty*, que são os dados a serem escritos no Xantrex.

Como se pode notar, estes 3 últimos blocos de função foram utilizados para 3 diferentes equipamentos, sendo estes o Xantrex, os Sentron PAC e os PM710. Para cada o Xantrex e PM710 necessitou-se um bloco de cada um destes, e para os Sentron PAC 2 de cada, um para cada Sentron PAC. Assim, utilizou-se 4 blocos de função de estabelecimento de conexão (*MODBUS\_TCP\_Connect*), 4 de leitura de dados (*MODBUS\_TCP\_Fn\_03*) e 4 de escrita de dados (*MB\_TCP\_Fn\_10*). A necessidade do primeiro bloco para cada aparelho decorre devido ao tempo de abertura e fechamento do socket para estabelecimento de

conexão, o qual se mediu próximo de 1s, e assim, afetaria a taxa de atualização de dados. Desta forma, definiu-se um socket para cada IP utilizado, e ao estabelecer a conexão o socket apenas será fechado quando o CLP for interrompido, estando sempre aberto durante a operação do programa.

Em relação ao utilizar-se um mesmo bloco para a leitura e escrita de diferentes equipamentos, poder-se-ia haver alguns erros de processamento dos dados recebidos, fenômeno que se observou previamente, e foi resolvido ao alocar-se um bloco de função para cada equipamento com um respectivo espaço de memória do CLP para processamento dos dados.

Para o programa do CP1L, têm-se blocos de função semelhantes que os utilizado para o CJ2M. Neste utilizou-se um bloco para estabelecimento da conexão, por meio de socket com o bloco *Open\_Socket*, disponibilizado pela Omron. Para leitura e escrita, utilizou-se o bloco *Modbus\_TCP\_Read\_32bit*, sendo que como controla-se apenas 8 contatores, a leitura e escrita será geralmente de um único registro por vez. Na Tabela 2 podem-se visualizar as contadores com o respectivo nome, registro e função.

Tabela 2: Contatores

<b>Contatores</b>	<b>Registro CP1L</b>	<b>Função</b>
KM1	100.00	Conecta a Planta de gaseificação ao Xantrex
KM2	100.01	Conecta o Xantrex às cargas
KM3	100.02	Conecta as energias renováveis ao Xantrex
KM4	100.03	Conecta o Xantrex à rede elétrica
KM6_7	100.04	Conecta o sistema eólico ao Xantrex ou à rede elétrica
KM8_9	100.05	Conecta o sistema solar ao Xantrex ou à rede elétrica
Load1	100.06	Conecta o sistema às cargas número 1
Load2	100.07	Conecta o sistema às cargas número 2

Neste programa do CP1L tem-se um maior cuidado com o estado inicial dos registros, e a respeito do estado que podem assumir entre eles. As contadores KM2, KM3 e KM4 devem iniciar ativas, para desta forma o Xantrex iniciar conectado respectivamente às cargas, às energias renováveis e a rede elétrica. As chaves comutadoras KM6\_7 e KM8\_9 devem também iniciar ativadas, as quais permitem que a energia gerada respectivamente pelo sistema

eólico e sistema solar flua para o Xantrex, e não para a rede elétrica no caso de iniciarem desativadas. Um esboço segue na Figura 12, em que se utiliza um contato first\_cycle.

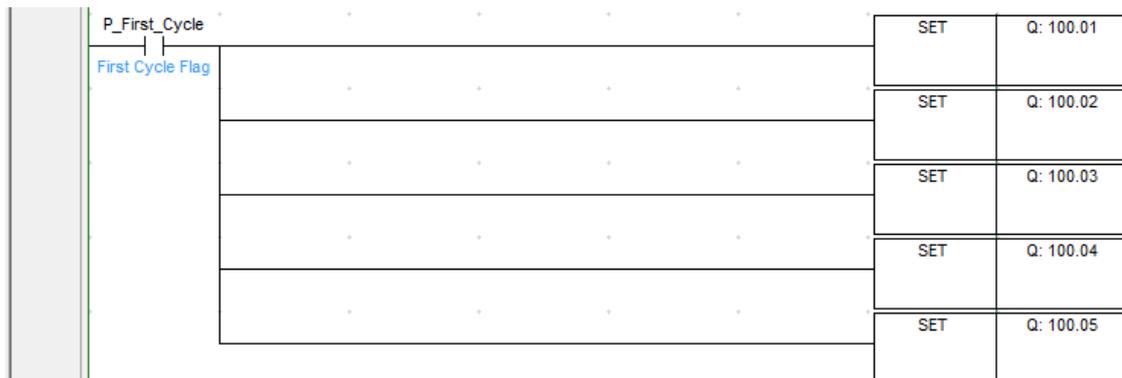


Figura 12: Condições iniciais no CP1L

Em relação aos estados que podem assumir durante a operação do programa, quando a contatora KM1 estiver ativa, que conecta a planta de gaseificação ao Xantrex, a contatora KM4 não pode estar simultaneamente ativa, que conecta a rede elétrica ao Xantrex. Isso decorre em razão da potência fornecida por ambos poder levar a um curto-circuito no Xantrex, ao ocorrer entrada de energia superior à suportada pelo Xantrex nas duas entradas CA. Para isto, tem-se um esboço na Figura 13 da linha de código necessária.

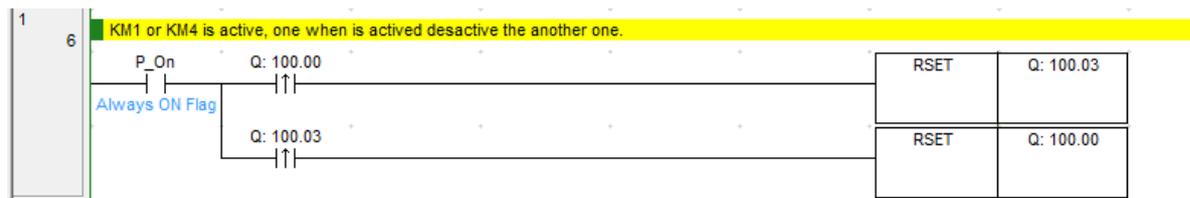


Figura 13: Conecta a planta de gaseificação ou a rede elétrica

Nota-se na Figura 13, que quando é realizado um comando de habilitação da conexão da rede elétrica com o Xantrex, a planta de gaseificação é desativada de forma instantânea, e vice-versa. Não houve necessidade de programar retardo entre desativação de uma e ativação da outra em razão do próprio Xantrex demorar cerca de 2s para realizar cada uma destas conexões, e desta forma, a outra conexão já estaria desconectada.

## 5.6 SISTEMA SUPERVISÓRIO SCADA

A segunda etapa do projeto desenvolvido na Espanha consiste no sistema supervisório SCADA, o qual foi desenvolvido com o software CX-Supervisor da Omron, em um computador sistema operacional Windows. Este software permite a criação de variáveis

(Points) com o endereço de memória dos CLPs conectados. Na versão gratuita pode-se adicionar até 150 variáveis, e na versão paga não há restrição. Para este projeto, utilizou-se a versão gratuita e cerca de 140 variáveis.

Anteriormente já havia o projeto da Vellucci [26], que consistia no sistema da planta de gaseificação, e a partir deste sistema desenvolvido anteriormente aproveitaram-se as páginas referentes à Planta de Gaseificação, Alarmes (da planta de gaseificação) e Sentron PAC.

Para o desenvolvimento deste sistema SCADA tem-se assim, primeiramente a criação destas variáveis (Points) com o endereço de memória do CJ2M e do CP1L. Como se pode ver da Figura 14, deve-se definir o nome do Point, o tipo (Booleano, Inteiro, Real ou Texto), se será modo leitura e/ou escrita, o valor máximo, mínimo e default de exibição, o intervalo de atualização, e definir de qual aparelho será realizado a leitura dos dados.

Dentre estas opções, definiu-se modo leitura e modo leitura e escrita, este último para as variáveis de ajuste e configuração. No intervalo de atualização, em razão do tempo imposto entre leituras no CLP de aproximadamente 500ms, definiu-se um valor superior ao dobro do período de leituras, obtendo atualização de 1s.

Nos Points de escrita, tem-se um tempo de atualização muito inferior, de cerca de 10ms, para desta forma qualquer comando de acionamento ser instantâneo. Para o valor default, manteve-se todos em 0, e no valor máximo e mínimo definiu-se valores máximos simétricos elevados, de cerca de uma ordem acima ao valor esperado, para assim indicar caso ocorra erro na leitura. Desta forma, definiram-se tensões máximas de  $\pm 1000V$  e frequências de  $\pm 100Hz$ .

Adicionalmente, pode-se fornecer uma descrição sobre a variável, e defini-la em um grupo, para de esta maneira facilitar ajustes e manutenção do sistema SCADA.

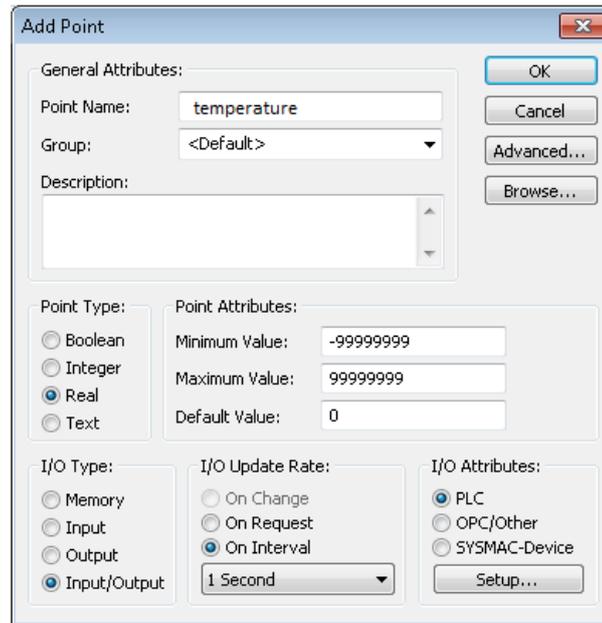


Figura 14: Criação de variáveis no SCADA

Na Figura 15, tem-se como exemplo as variáveis de interesse medidas pelo medidor de potência ID3, que são todos valores reais (frequência, corrente, tensão), de modo leitura e alocados em endereços de memória do CJ2M. Para exemplificação, tem-se a frequência, que é um valor real, modo de entrada (apenas leitura), e esta no registro D7013 do CJ2M.

ID3_Real_Energy	Real	PLC Input	CJ2M[D7000]
ID3_Apparent_Energy	Real	PLC Input	CJ2M[D7002]
ID3_Power_Factor	Real	PLC Input	CJ2M[D7009]
ID3_Frequency	Real	PLC Input	CJ2M[D7013]
ID3_Current	Real	PLC Input	CJ2M[D7020]
ID3_Voltage	Real	PLC Input	CJ2M[D7033]
ID3_Real_Power	Real	PLC Input	CJ2M[D7036]
ID3_Apparent_Power	Real	PLC Input	CJ2M[D7037]

Figura 15: Variáveis no SCADA

Em seguida, tem-se a criação de páginas, que são as telas onde é desenvolvida a exibição dos dados lidos pelos registros, gráficos e parâmetros ajustáveis. Por meio destas páginas tem-se uma interface simples e amigável para supervisionar e controlar a planta microgrid. Estas páginas podem ser definidas para operarem desde o início do programa, podem ser exibidas superpostas ou individualmente. Na Figura 16 exibem-se as páginas criadas, em conjunto de alguns parâmetros que podem ser modificados.

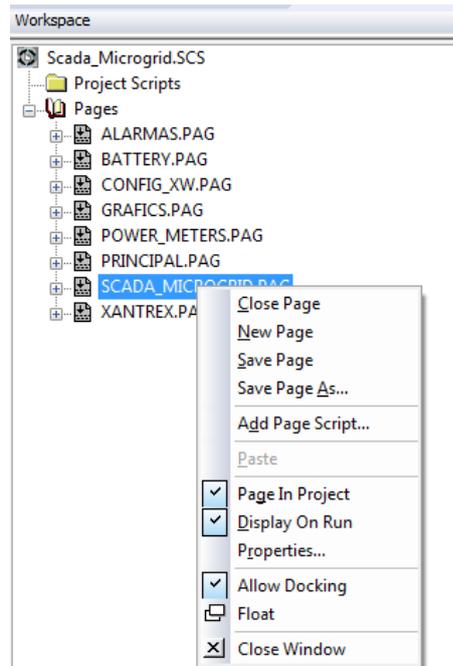


Figura 16: Páginas SCADA

Nas páginas podem ser adicionados caixas para exibição dos valores lidos, e botões com função de acionamento de contato ou chamada de páginas. Ainda, podem ser colocadas imagens para simples representação de algum dispositivo, ou podem também ter uma função associada, como de ativação de outro dispositivo ou chamada de outra página.

Em relação à parte já realizada pela Vellucci [26], aproveitaram-se as páginas criadas em seu sistema SCADA. No código para automatização, mantiveram-se os mesmos endereços de memória no CJ2M e mesmos Points no SCADA, o que viabilizou utilizar as páginas com pequenas mudanças, a respeito do chamamento da página da planta de gaseificação pela página da principal da microgrid, e data e hora em cada página. Assim, nas Figura 17, 18 e 19 tem-se respectivamente a página da Planta de Gaseificação, Sentron PAC e Alarmes, desenvolvidos por Vellucci [26] que continuam no presente sistema supervisor.

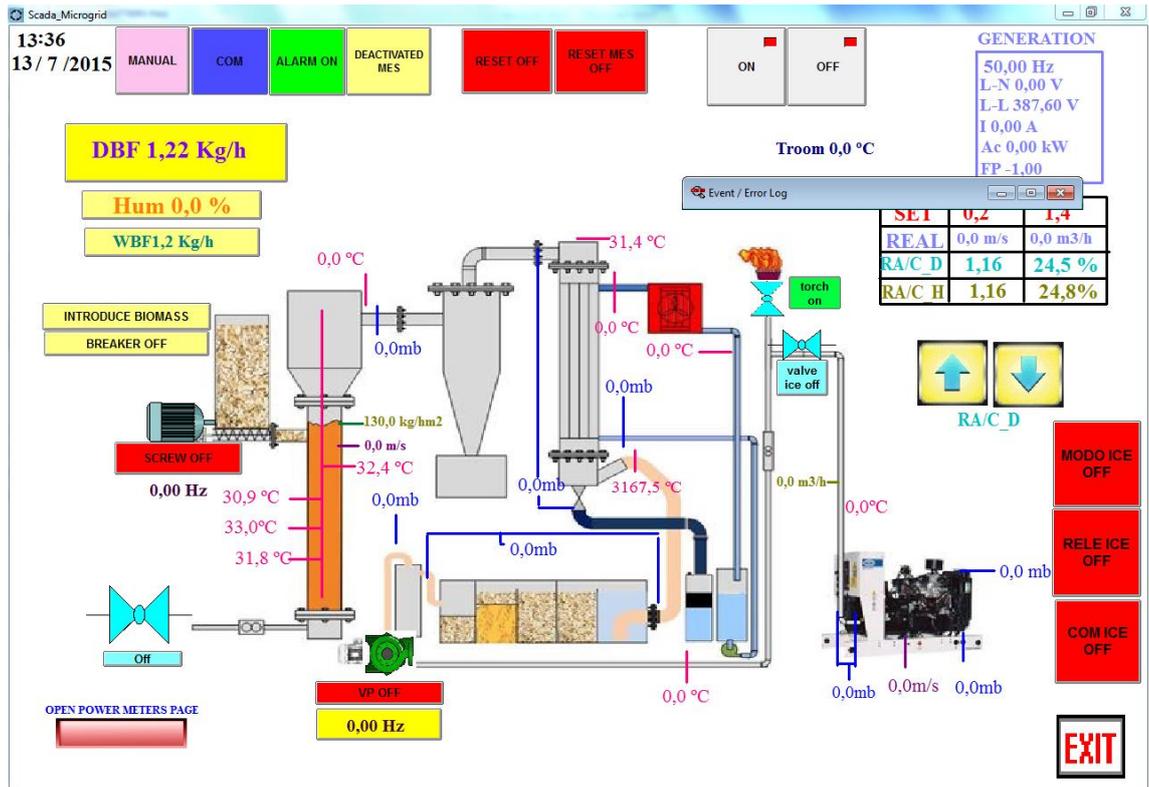


Figura 17: Página da planta de gaseificação

Nota-se que esta planta pode operar de forma automática ou manual, e possibilita a abertura ou fechamento de cada válvula.

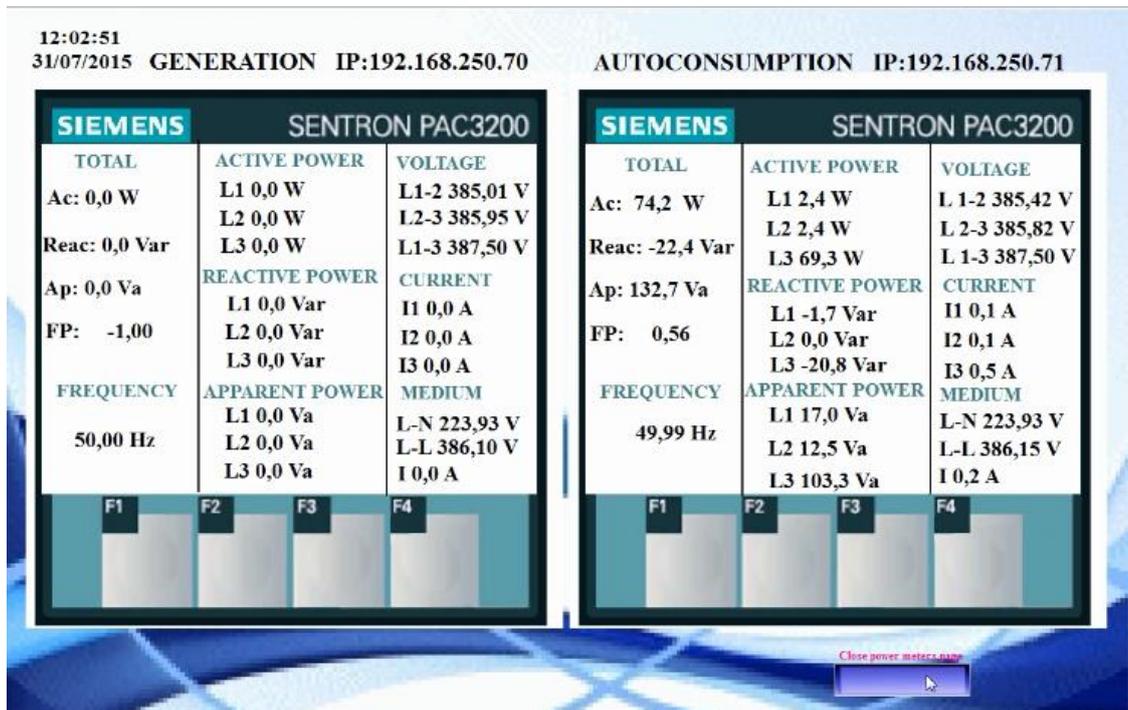


Figura 18: Página dos Sentron PAC

Na Figura 18 pode-se notar que são exibidos na mesma página os valores dos dois Sentron PAC referentes à potência ativa, reativa e aparente, e os valores de tensão, corrente, fator de potência e frequência.

A página de Alarmes, que aparece automaticamente quando disparar qualquer alarme referente a erros na planta de gaseificação é exibido na Figura 19.

The image shows a screenshot of an alarm management interface. It contains 18 individual alarm lists, each with a title and a table of alarm events. The tables have columns for Date, Time, Message, Priority, and Status. The status can be 'Cleared', 'Acknowledged', or 'Alarm'. The alarms are color-coded by category: red for high priority, green for medium, and blue for low. The titles of the alarm lists are: FAIL COMMUNICATION PORT 2 CSU31, T GAS OUTLET VACUUM PUMP HIGH, DP FILTER WOOD CHIPS HIGH, T REACTOR HIGH, DP BED REACTOR HIGH, DP FILTER WOOD CHIPS LOW, T REACTOR VERY HIGH, DP BED REACTOR LOW, P SUCTION VACUUM PUMP HIGH, T INLET EXCHANGER HIGH, T OUTLET AIRTHERM HIGH, P OUTLET VACUUM PUMP HIGH, DP EXCHANGER HIGH, FREQUENCY VACUUM PUMP HIGH, T GAS OUTLET EXCHANGER HIGH, TURN ON FIXED BED, CLOSE TOP PLUG AND TURN ON BLOWTORCH, OPEN RECIRCULATION TURN ON VACUUM PUMP CLOSE V INLET, and TURN OFF BLOWTORCH AND CLOSE BOTTOM.

Figura 19: Página de Alarmes

Assim, para o sistema supervisorio, além destas 3 páginas já disponíveis, criaram-se mais 5 páginas, as quais seguem uma breve descrição: Xantrex, que contém todos os dados lidos pelo Xantrex, exceto parâmetros ajustáveis; Configuração do Xantrex, em que têm-se todos os parâmetros configuráveis do Xantrex; Gráficos, em constam a potência gerada e consumida lida pelos medidores de potência e pelo Xantrex; Medidores PM710, que é uma página que contém os 4 medidores de potência com todos seus valores lidos e ajustáveis; Planta Microgrid, que é a página principal, que opera desde o principio, e contém todos os principais dados de interesse (tensão, corrente, frequência e potência), botões para comandos na planta, e botões e imagens para chamada das outras páginas.

Por fim, para registro da geração e consumo da microgrid, selecionaram-se alguns dados para serem armazenados. Estes dados são armazenados a cada 1s no computador, conforme tempo de leitura de todos os registradores pelo CLP, e correspondem ao tempo mínimo de 700ms. Os valores armazenados referem-se as medidas de tensão, corrente, potência e energia em cada medidor. Ao clicar com o botão direito do mouse no sistema SCADA em operação, são disponibilizados os arquivos salvos, e a partir destes pode-se visualizar os dados diretamente na tela ou exportar para o Excel.

## 6 SISTEMA SUPERVISÓRIO DESENVOLVIDO NO DELET

Neste Capítulo descreve-se o projeto desenvolvido no DELET para a planta piloto microgrid, em que se utilizou o método experimental como metodologia. Na microgrid se dispõe de sete painéis solares Suyang de 200W para geração da energia elétrica e de um inversor de frequência Semikron 10kW para conversão da energia gerada de CC para CA. Estes painéis solares foram instalados em cima do prédio da Engenharia Elétrica.

Inicialmente, idealizou-se um sistema de visualização à distância para monitoramento da energia gerada pelos painéis solares, por meio de uma página web, com conexão via wi-fi pelo módulo ESP8266, utilizando o protocolo 802.11g. No entanto, para conexão deste módulo ESP8266 deve-se ter uma rede wi-fi disponível com o nome da rede (SSID) e senha de acesso (password), e para acesso à rede da UFRGS necessita-se de um passo intermediário com acesso pelo número de cartão do usuário, e devido a esta impossibilidade de conexão à rede wi-fi da UFRGS, não se implementou conexão via wi-fi. Além disso, tal sistema poderia sofrer mais com possíveis faltas de rede para conexão.

Assim, projetou-se a comunicação via Ethernet, de um sistema de visualização dos dados medidos na geração de energia pelos painéis solares, em que o acesso é disponibilizado por endereço IP, podendo-se acessar em qualquer web browser. Os dados são exibidos em uma tabela HTML, sendo realizado desta forma simples devido ao fato de toda a informação exibida no endereço IP ser enviada pelo Arduino, que torna não viável o envio de imagens a partir deste para o endereço IP. Este sistema encontra-se detalhado na Seção 6.2.

Por questões de segurança, decidiu-se não dispor de mecanismos de acionamento neste sistema, devido ao fato de não necessitar nenhuma senha para acesso. Além disso, embora este sistema seja funcional, não é intuitivo visualmente, constando apenas de uma tabela para visualização dos valores de tensão, corrente e potência.

Por estes motivos, criou-se um segundo sistema, em que se tem um aplicativo que opera localmente em um computador, e assemelha-se ao sistema SCADA desenvolvido na Espanha, em termos de ambiente para desenvolvimento no software. E por ser local não há problemas de segurança de acesso e pode assim, dispor de acionamentos. Este sistema conecta-se com comunicação serial com o Arduino, e pode ser visualizado em detalhe na Seção 6.3.

Ambos os sistemas utilizam o Arduino para medida dos valores de interesse, e envio dos dados. Os outros equipamentos e o sistema de medida utilizado encontra-se em detalhe na Seção 6.1.

## 6.1 SISTEMA DE MEDIDA E ACIONAMENTO

Neste projeto, como se tem o objetivo de realizar um sistema de supervisão do sistema de geração piloto de energia solar, desenvolveu-se primeiramente uma placa eletrônica para medir a tensão e corrente gerada no painel solar.

Na medida da corrente utilizou-se um sensor de corrente SECOHR 50 BCI-15 produzido no Brasil, que fornece saída em corrente CC máxima de 50mA para leitura de 50A, sendo de interesse medir-se até 15A. Assim, para leitura no Arduino, colocou-se em série um resistor de  $330\Omega$  a fim de obter-se tensão máxima de 5V para esta corrente.

Na medida da tensão, em razão de tratar-se de tensão CC, utilizou-se um simples divisor resistivo. Em ambas as portas do Arduino colocou-se em paralelo um diodo zener para proteção. Para o acionamento de conexão e desconexão com cargas ou a rede elétrica tem-se um módulo com dois relés, que suportam até 10A e  $30V_{CC} \sim 250V_{CA}$ .

## 6.2 SISTEMA DE VISUALIZAÇÃO À DISTÂNCIA

Neste sistema utilizou-se um Arduino ATmega2560 R3, com o Ethernet Shield W5100. Por meio do Shield, atribui-se um endereço IP ao dispositivo na rede web, utilizando a biblioteca Ethernet do Arduino, em uma configuração WebServer. Na Figura 20 pode-se visualizar os valores definidos de IP, mac e gateway.

```
//Definicoes de IP, mascara de rede e gateway
byte mac[] = {
  0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
IPAddress ip(143,54,215,230);           //Define o endereco IP
IPAddress gateway(143,54,214,1);       //Define o gateway
IPAddress subnet(255, 255, 254, 0);    //Define a máscara de rede
```

Figura 20: Definição do IP e máscara de rede

O valor do Mac é fornecido pelo fabricante da Ethernet Shield, estando este escrito no próprio dispositivo. O endereço IP é escolhido conforme já discutido no capítulo anterior, do projeto desenvolvido na Espanha, em que identifica-se o padrão dos três primeiros octetos do IP da rede local (143.54.215.x), e em seguida, define-se um número distinto para o último octeto. Da mesma forma, depois de atribuído este número ao Arduino, realiza-se um ping para testar se está configurado corretamente. Na Figura 21 mostra-se este comando realizado para testar a configuração do IP escolhido no Arduino.

```

ca. C:\Windows\system32\cmd.exe

Estatísticas do Ping para 143.54.215.232:
  Pacotes: Enviados = 4, Recebidos = 4, Perdidos = 0 <0% de
    perda>,

C:\Users\ricardo.klein>ping 143.54.215.230

Disparando 143.54.215.230 com 32 bytes de dados:
Resposta de 143.54.215.230: bytes=32 tempo=5ms TTL=128
Resposta de 143.54.215.230: bytes=32 tempo<1ms TTL=128
Resposta de 143.54.215.230: bytes=32 tempo<1ms TTL=128
Resposta de 143.54.215.230: bytes=32 tempo<1ms TTL=128

Estatísticas do Ping para 143.54.215.230:
  Pacotes: Enviados = 4, Recebidos = 4, Perdidos = 0 <0% de
    perda>,
Aproximar um número redondo de vezes em milissegundos:
  Mínimo = 0ms, Máximo = 5ms, Média = 1ms

```

Figura 21: Ping dentro da rede da UFRGS

Em seguida, estabelece-se a conexão do servidor web por meio da porta 80, como dado pela linha de código “EthernetServer server(80)”. Para conectar-se ao servidor web criado, tem-se a linha de código “EthernetClient client = server.available()”.

Realizado isto, podem-se exibir os valores desejados de forma simples em uma tabela HTML. Nesta exibição dos dados, para seguir o protocolo http, deve-se inicialmente enviar o modelo padrão de header, exposto na Figura 22.

```

client.println("HTTP/1.1 200 OK");|
client.println("Content-Type: text/html");
client.println("Connection: close");
client.println("Refresh: 1"); //Recarrega a pagina a cada 1 seg
client.println();
client.println("<!DOCTYPE HTML>");
client.println("<html>");

```

Figura 22: Código do modelo padrão de header http

Após o envio do header, podem-se enviar os comandos para estrutura da tabela em formato HTML, sendo que neste projeto exibem-se os valores medidos de tensão e corrente, e o valor de potência. Desta forma, os dados são enviados via conexão Ethernet para a página web criada com acesso pelo IP conforme a Figura 23.

```

//Configura o texto e imprime o titulo no browser
client.print("<font color=#0000FF><b><u>");
client.print("Recebimento de dados por Ethernet.");
client.print("</u></b></font>");
client.println("<br />");
client.println("Tensãatilde;o: <b>" + stensao + "[V] </b><br/>");
client.println("Corrente: <b>" + scorrente + "[A] </b><br/>");
client.println("Potsecirc;ncia: <b>" + spotencia + "[W] </b><br/>");
client.println("</html>");

```

Figura 23: Código para enviar os dados via Ethernet

### 6.3 SISTEMA DE VISUALIZAÇÃO E ACIONAMENTO LOCAL

Neste projeto, por meio do software Microsoft Visual C# desenvolveu-se um aplicativo executável Windows com o sistema de supervisão. Além de este sistema exibir os dados de tensão, corrente e potência como no sistema anterior de exibição via Ethernet, dispõe-se ainda de um sistema de controle de 2 relés, que podem ser utilizados para acionar a conexão/desconexão com carga ou com a rede elétrica.

Para conectar este sistema com a rede elétrica, ressalta-se que primeiramente deve-se regularizar a situação com a distribuidora local, conforme exposto no Capítulo 4, sendo que não foi realizado no presente projeto devido à questão do tempo.

A comunicação entre este aplicativo e o Arduino é por meio da porta serial, com baudrate de 9600, 8 bits e sem paridade. Os dados são lidos pelo Arduino a cada 100ms, sendo que é realizada a média dos últimos 16 valores, e o valor da média da tensão e da corrente são enviados em uma String pela porta serial, que serão em seguida tratados no aplicativo. O aplicativo possui um temporizador que a cada 500ms solicita uma requisição de leitura dos dados pelo Arduino, enviado a este um caractere W, que responde com os dados lidos na String.

No software Microsoft Visual C#, criou-se um projeto Windows Forms Application, e nesta aplicação, em adicionam-se botões para conexão com a carga e rede elétrica, caixas de seleção *comboBox* para a seleção e conexão da porta COM, *labels* de tensão, corrente e potência, e imagens referentes ao sistema microgrid da planta solar piloto para visualização do processo.

Por praticidade, pode-se dividir o trabalho desenvolvido em 3 etapas, da conexão pela Porta COM com o Arduino, atribuição de função ao clicar nos botões, e leitura/escrita de dados pela porta serial.

No *comboBox* referente à conexão com a porta COM, realiza-se um comando *foreach*, que busca por todos os valores em listas e arrays, que neste caso utilizou-se para buscar todas as portas COM disponíveis, atribuindo o nome da porta aos itens de seleção do *comboBox*, conforme exposto pela Figura 24.

```

//adiciona todas as COM disponíveis na lista
foreach (string s in SerialPort.GetPortNames())
{
    comboBox1.Items.Add(s);
}
//seleciona a primeira posição da lista
comboBox1.SelectedIndex = 0;

```

Figura 24: Lista das portas COM disponíveis

Para as funções atribuídas aos botões, criam-se funções para execução ao clicar sobre estes, por meio do protótipo de função “*private void btCarga\_Click(object sender, EventArgs e) { ... }*”, como mostrado na Figura 25. E internamente, define-se que quando a conexão com a porta COM estiver estabelecida, verifique o estado atual do respectivo relé, e realize a troca entre habilitar e desabilitar, enviando o caractere para o Arduino realizar este acionamento.

```

private void btCarga_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (serialPort1.IsOpen == true)
    {
        serialPort1.Write("B");
        if (btCarga.Text == "Desabilitar Carga")
        {
            btCarga.Text = "Habilitar Carga";
            btCarga.BackColor = Color.OrangeRed;
        }
        else
        {
            btCarga.Text = "Desabilitar Carga";
            btCarga.BackColor = Color.SpringGreen;
        }
    }
}

```

Figura 25: Habilitar e desabilitar carga

Em razão de receber todos os dados de uma vez, utiliza-se a função *ReadLine* para leitura de todos os dados disponíveis na porta serial e a função *Split* para separar os dados conforme o separador adotado, que neste caso foi a vírgula. Isto pode ser visualizado nas primeiras duas linhas da Figura 26.

```

string dado = serialPort1.ReadLine();
string[] dados = dado.Split(',');
double tensao = Convert.ToDouble(dados[0]) * 236 / 1023;
double corrente = Convert.ToDouble(dados[1]) * 15.6 / 1023;
double potencia = tensao * corrente;

lbTensao.Text = "Tensão: " + Convert.ToString(Math.Round(tensao, 2)) + "V";
lbCurrent.Text = "Corrente: " + Convert.ToString(Math.Round(corrente, 2)) + "A";
lbPotencia.Text = "Potência: " + Convert.ToString(Math.Round(potencia, 2)) + "W";

```

Figura 26: Tratamento dos dados recebidos

Em seguida, convertem-se os dados recebidos de String para valor *double*, e por meio da multiplicação pela relação da tensão lida pela porta do Arduino com o valor de interesse, tem-se o valor real medido. Para exemplificação, na tensão tem-se que 24V no painel solar corresponde ao valor de 5V no Arduino, e como este é de 10bits (1023 valores) tem-se a relação do *Valor real = 24 \* Valor lido em bits/1023*. Preferiu-se realizar o tratamento dos dados recebidos no próprio aplicativo criado, sendo que isto poderia também ser feito diretamente no próprio Arduino que envia os dados.

Nas últimas três linhas da Figura 26 pode-se visualizar a atribuição dos valores reais ao label da tensão, corrente e potência, com conversão do valor medido de double para string, e arredondamento do valor para 3 casas decimais.

Neste programa, utilizou-se ainda 2 temporizadores, que quando atingido o tempo abrem automaticamente o evento associado. Um deles necessário para listas as portas COM, até que seja efetuada uma conexão, e o segundo de 500ms para realizar a requisição de leitura dos valores lidos pelo Arduino.

Em relação ao código no Arduino, na Figura 27 pode-se visualizar o código para identificação do caracter recebido e respectiva função associada, sendo que para acionamento do primeiro relé da rede elétrica, atribuiu-se o caracter A, para o acionamento do relé da carga atribui-se o caracter B, e para requisição de envio dos dados lidos pelo Arduino tem-se o caracter T.

```
if (Serial.available()){ // verifica se há dados para leitura
  switch(Serial.read()) //verifica o caracter recebido
  {
    case 'A': //caso 'A'
      digitalWrite(rede,!digitalRead(rede)); //inverte estado do relé
      break;

    case 'B': //caso 'B'
      digitalWrite(carga,!digitalRead(carga)); //inverte estado do relé
      break;

    case 'T':
      Serial.println(data);
      break;
  }
}
```

Figura 27: Acionamento dos relés no Arduino

Um fato importante a destacar, é que o programa no Arduino possui estes dois sistemas, à distância e local, que operam independentemente, sendo que para funcionamento por Ethernet deve-se conectar o módulo Ethernet Shield, e neste segundo apenas é necessária a conexão com o Arduino por porta serial.

## 7 RESULTADOS

### 7.1 RESULTADOS NA ESPANHA

A partir da metodologia descrita, descrevem-se as páginas desenvolvidas no Sistema SCADA como resultado da automatização e supervisão da planta realizada.

Na Figura 28, tem-se a página principal, contendo o funcionamento e controle de toda a microgrid. Pode-se notar que se inseriram imagens na página referentes a cada equipamento e dispositivo para melhor visualização da microgrid. À esquerda tem-se de cima para baixo o desenho do sistema eólico, da planta de gaseificação de biomassa e do sistema solar.

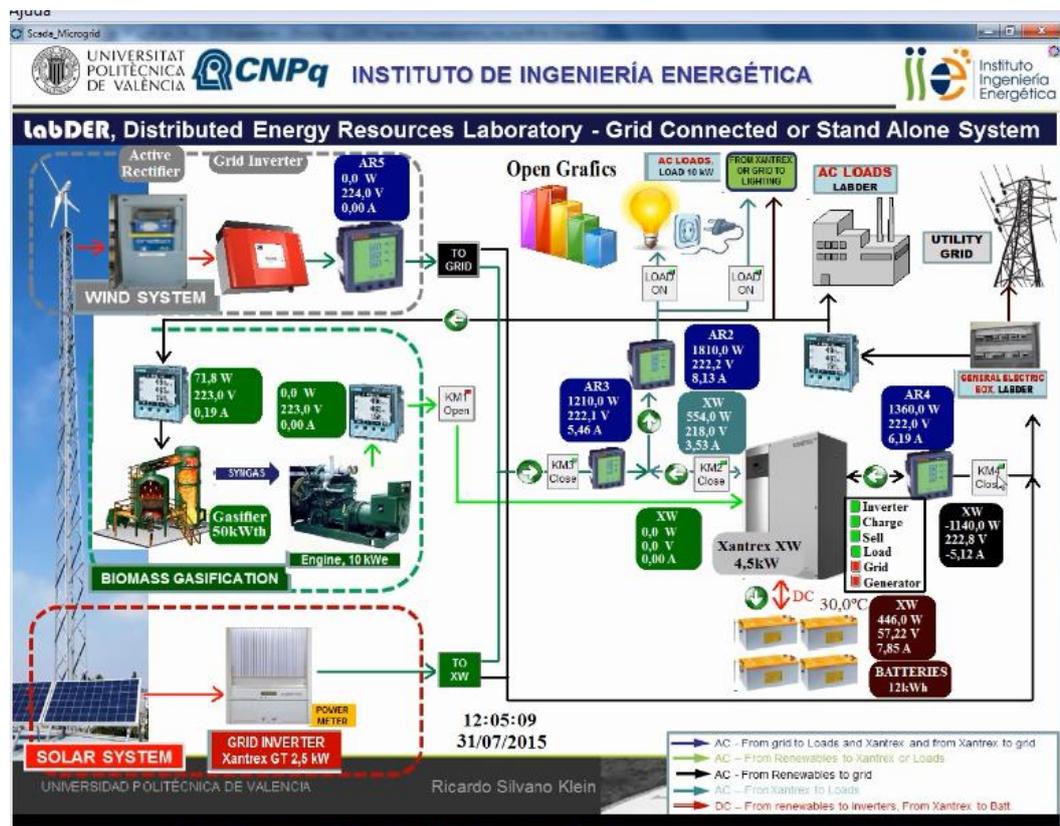


Figura 28: Página principal da Microgrid

Na imagem da planta de gaseificação, quando pressionado sobre qualquer imagem ali presente da planta, abrirá a página da planta de gaseificação da Figura 17. Nos medidores Sentron PAC, tem-se com fundo verde uma caixa exibindo os valores medidos de tensão, corrente e potência, um para entrada e outro para saída. E ao clicar sobre a imagem de qualquer um dos dois, abre a página do Sentron PAC dada pela Figura 18.

Em detalhe na Figura 29 tem-se a legenda da página principal da microgrid, com cinco linhas de cores distintas, sendo as quatro primeiras em tensão CA e a última em CC. A

primeira linha em verde escuro corresponde à energia que flui da rede elétrica para as cargas e o Xantrex, e do Xantrex para a rede elétrica. A segunda linha em verde claro corresponde a energia das fontes renováveis para o Xantrex ou às cargas. A terceira linha em preto corresponde a energia das fontes renováveis para a rede elétrica. Na quarta linha, em azul turquesa corresponde a energia do Xantrex para às cargas. Na última linha, em vermelho, corresponde a energia das fontes renováveis aos inversores, e do Xantrex para a bateria.

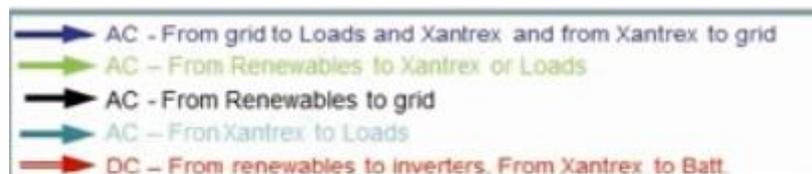


Figura 29: Legenda da página principal da Microgrid

Dentro do sistema eólico presente na Figura 28, nota-se que há um medidor de potência PM710. Nestes, tem-se próximo em uma caixa azul, os valores medidos de tensão, corrente e potência. Ao pressionar-se sobre algum dos PM710, abre a página da Figura 30.

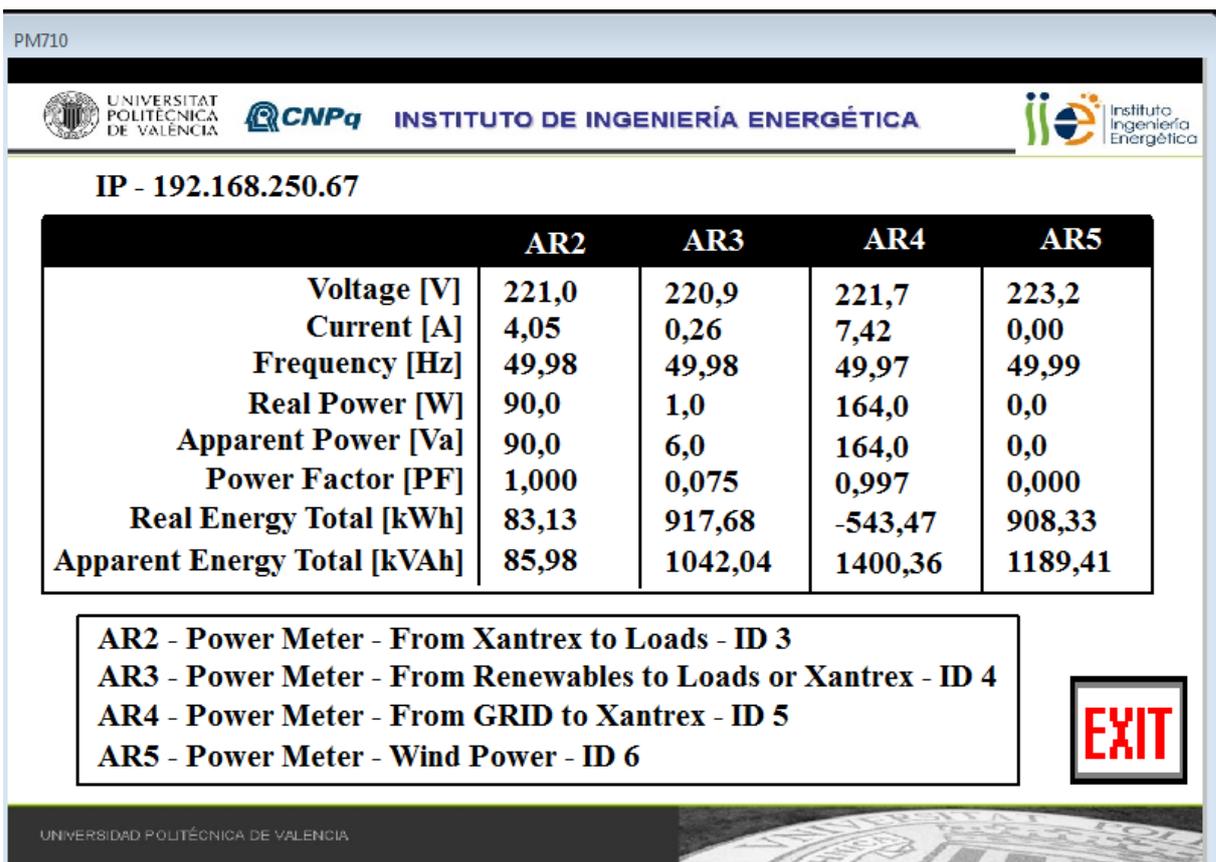


Figura 30: Página dos PM710

Nota-se que os 4 PM710 foram colocados em conjunto em uma mesma página, e abaixo consta um índice referente ao nome e a posição de cada um deles. Entre os dados exibidos, tem-se tensão, corrente, frequência, potência ativa e aparente, fator de potência, e energia ativa e aparente. No canto inferior direito tem-se um botão “Exit” para sair da página, o qual foi feito também em todas as outras páginas chamadas pela página da microgrid.

Nas saídas do sistema solar e eólico da microgrid nota-se que há uma chave comutadora em cada sistema, as quais possuem coloração verde ou preta, para quando o fluxo vá para o Xantrex ou diretamente para a rede, respectivamente. O fluxo diretamente para a rede significa que não passará pelo Xantrex, e sim passará pela Caixa de comando central (Central Electric Box LabDER) que contém um dispositivo para detecção de passagem por zero da rede e assim conecta o sistema solar ou eólico com a rede elétrica.

Na saída da planta de gaseificação e na saída para as cargas, colocaram-se as chaves contadores como botões de fundo branco com o nome da chave sobrescrito, que quando pressionados são ativados ou desativados.

Ao centro na parte de cima, tem-se a imagem representado os gráficos, que ao ser pressionado abre os gráficos implementados de potência gerada e consumida em tempo real, que pode ser visualizada na Figura 31.

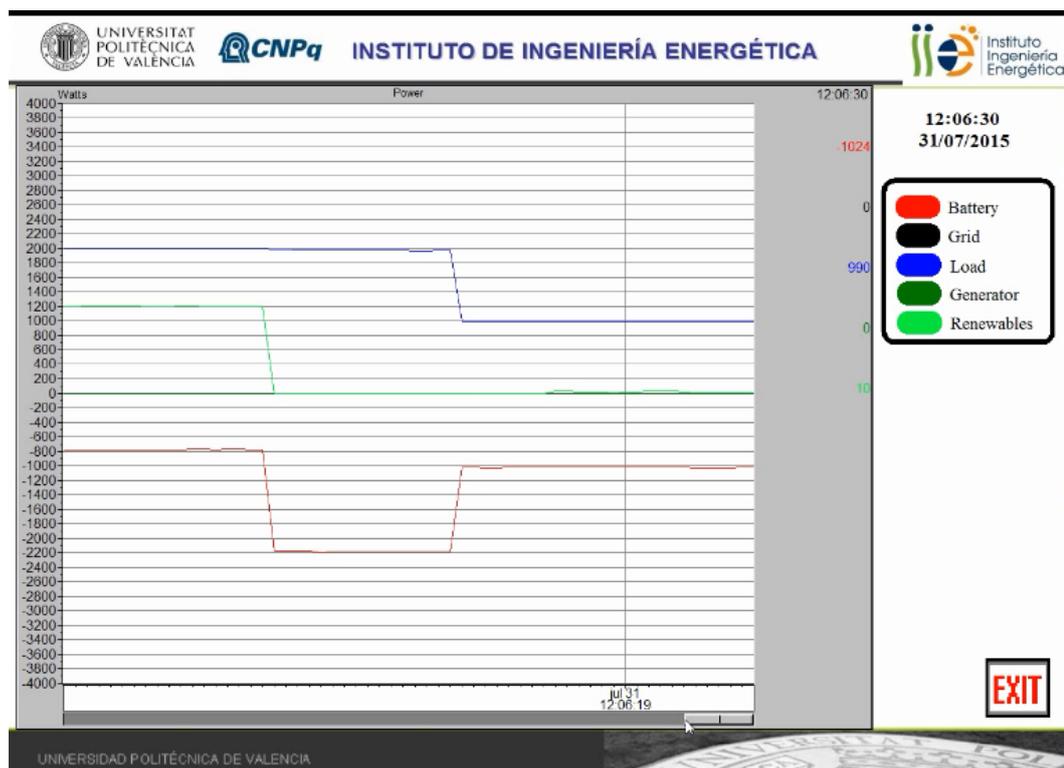


Figura 31: Página dos gráficos

Neste, gera-se um gráfico em tempo real dos valores da potência ativa da bateria, da rede elétrica, das cargas, da planta de gaseificação e das fontes renováveis (solar e eólica). Na parte inferior direita da Figura 28, tem-se a imagem do Xantrex, e como se pode observar, todas suas entradas e saídas possuem medidores de potência para comparação dos valores medidos entre eles. Ao lado do Xantrex há ainda uma tabela para exibição e acionamento de alguns estados, sendo estes: modo inversor, modo carregador (carregar as baterias), venda de energia (energia para a rede elétrica), energia para as cargas, conexão com a rede elétrica e conexão com o gerador (planta de gaseificação).

Assim como os valores lidos de tensão, corrente e potência ativa pelos medidores de potência são exibidos em uma caixa, os valores do Xantrex também são exibidos. Nestes, tem-se acima de cada caixa escrito “XW” para diferenciar os valores medidos pelo Xantrex dos que foram medidos pelos PM710 em azul.

Este equipamento, em razão de ser o principal dispositivo da planta microgrid, por fazer todo o interfaceamento das fontes renováveis, com a rede elétrica e baterias, possui com mesma importância duas páginas associadas relevantes, uma dos valores do Xantrex e outra com as configurações do Xantrex. A página do Xantrex, dada pela Figura 32, pode ser acessada ao pressionar sobre a própria imagem do Xantrex.

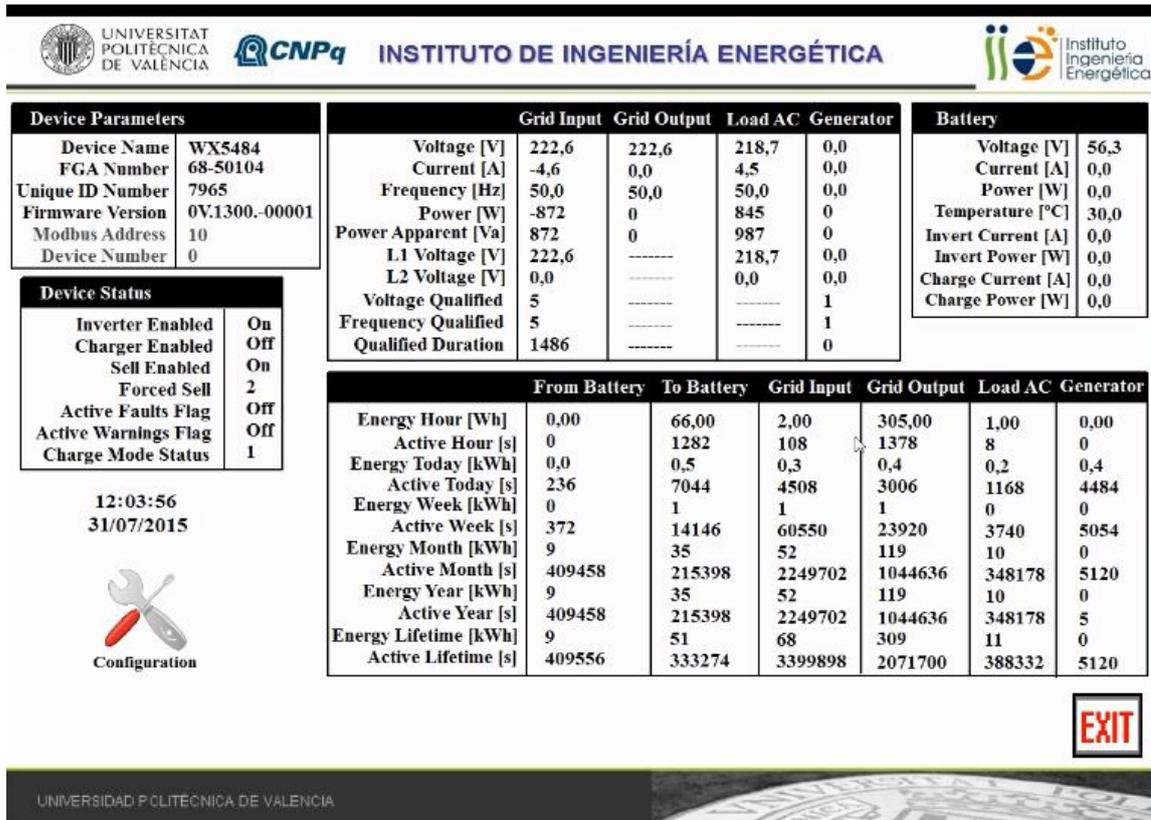


Figura 32: Página do Xantrex

Observa-se que para o Xantrex criaram-se muitas variáveis (Points) em razão deste aparelho realizar a medida em cada subsistema (cargas, baterias, fonte renováveis e rede elétrica), além de possuir muitos parâmetros configuráveis (endereço Modbus, número de Identificação) e outros parâmetros próprios apenas de leitura (nome do aparelho, número FGA, versão do firmware).

À direita, nota-se que o Xantrex opera com a rede elétrica nos dois sentidos, de geração e consumo, e que os valores de interesse são mostrados em conjunto com os consumidos pelas cargas e gerados pela microgrid (solar, eólica e planta de gaseificação). Os valores a serem exibidos foram escolhidos por relevância, em conjunto com o supervisor, sendo estes a tensão, corrente, frequência, potência ativa e aparente, e fatores de qualidade (de tensão, de frequência e de duração).

Em razão de esses operarem em CA, e a bateria em CC, optou-se por colocar a bateria à parte, e exibir assim, outros valores mais importantes. Destes valores, mostra-se igualmente a tensão, corrente e potência, contudo agora se dispõe também do sentido da energia, se provém da bateria descarregando-a ou se é fornecida à bateria, carregando-a. Além disso, dispõe-se do valor da temperatura nas baterias, exibido em °C.

Na parte inferior, tem-se uma tabela com a energia gerada ou consumida por estes 5 subsistemas agrupados, que por tratar-se de energia é indiferente o sistema operar em CA ou CC. Nesta tabela tem-se um histórico de consumo/geração de energia e tempo ativo que são organizados por hora, dia, semana, mês, ano e desde o início de operação

No canto inferior esquerdo, adicionou-se uma imagem referente a configuração, que faz a chamada para a página de configuração do Xantrex. Esta página pode ser visualizada na Figura 33.

**CONFIG\_XW**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CNPq INSTITUTO DE INGENIERÍA ENERGÉTICA Instituto Ingeniería Energética

	AC1	AC2
Low Voltage	200,0 V	210,0 V
High Voltage	260,0 V	265,0 V
Low Frequency	45,00 Hz	45,00 Hz
High Frequency	55,00 Hz	55,00 Hz

CHARGER	
Maximum Charge Rate	100 %
Charge Cycle	3
Charge Start	0,0 min
Charge Stop	0,0 min

BATTERY	
Nominal Voltage [V]	48,00
Battery Type	0
Temperature Type	1
Bank Capacity [Ah]	250,00
Temp. Coefficient [mV/K]	200,00
Bulk/Boost Voltage [V]	57,60
Float Voltage [V]	54,00
Equalize Voltage [V]	64,00
Absorption Time [s]	10800,00

INVERTER	
Recharge Voltage	50,0 V
Maximum Search Watts	50,0 W
Search Delay	2,00 s
Grid Support Voltage	0,0 V
Maximum Sell Amps	20,00 A
Load Shave Amps	44,00 A

Maximum Voltage	
Maximum Value [V]	70,00
Delay Time [s]	60,00

Minimum Voltage	
Minimum Value [V]	40,00
Delay Time [s]	10,00

**Battery Type** 0=Flooded  
 1=Gel  
 2=AGM  
 3=Custom

**Temperature Type** 0= Cold  
 1=Warm  
 2=Hot

**Charge Cycle** 1= 3 stage  
 2= 2 stage

**EXIT**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Figura 33: Página de configuração do Xantrex

Dentre as configurações, podem-se ajustar as tensões máximas e mínimas, e frequências máximas e mínimas de operação do Xantrex. Por tratar-se da Espanha, deseja-se tensão próxima de 230V e frequência próxima de 50Hz, como pode ser observado está dentro dos valores máximos impostos. Ainda, podem-se ajustar alguns parâmetros referentes à bateria, tais quais como capacidade de carga e tipo de bateria, e em específicos ajustes para quando operar em modo conversor ou inversor.

Para visualização do fluxo de potência, implementaram-se flechas em verde, que estão sobre as linhas de transmissão, e indicam o sentido do fluxo de potência, os quais podem ser visualizados na página da Microgrid.

Para verificação da correta leitura dos medidores de potência, assim como do Xantrex, realizaram-se 4 ensaios com a microgrid operando com o sistema de automatização e supervisão implementados.

Estes testes foram realizados em quatro situações distintas, sendo estas com e sem a presença das fontes renováveis, da rede elétrica, da bateria e das cargas. Os ensaios podem ser visualizados em detalhe na Tabela 3, no qual o X representa a presença da respectiva geração ou consumo.

Tabela 3: Ensaios realizados

<b>Ensaio</b>	<b>Fontes renováveis</b>	<b>Rede Elétrica</b>	<b>Bateria</b>	<b>Carga de 1kW</b>
<b>1°</b>	X	X	X	
<b>2°</b>	X	X	X	X
<b>3°</b>	X	X		X
<b>4°</b>			X	X

Estes ensaios, como se pode observar pelo dia e hora constante na parte de baixo da página da Figura 34, 35, 36 e 37, foram realizados no dia 31 de julho de 2014 de forma subsequente. Durante estes ensaios, realizou-se a gravação da tela, que está disponível no site Youtube, no link <https://www.youtube.com/watch?v=jyHwd-O2IPs>.

Para cada um destes, será apresentada a tela do SCADA em operação com os respectivos valores medidos e uma breve análise do fluxo de potência, e assim, demonstra-se o funcionamento geral da planta e se os dados estão condizentes.

## 1º Ensaio – Microgrid sem cargas.

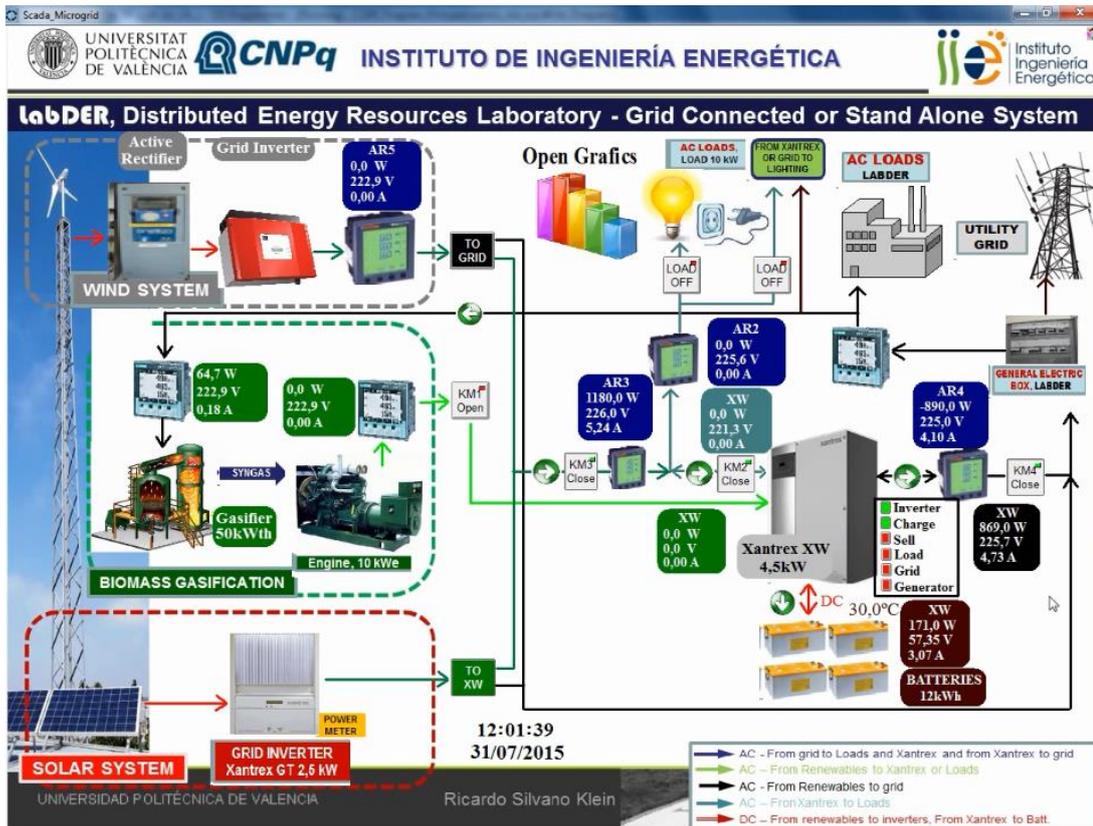


Figura 34: 1º Ensaio

Observa-se que a planta de energia solar está em operação, e a energia desta passa por KM3 e KM2 até o Xantrex. Para saber o sentido da energia, utilizou-se o sentido indicado pelas flechas em verde.

Nenhuma das cargas está habilitada, logo não possui consumo. Entre os modos habilitados no Xantrex, observa-se que o modo inversão e conversão estão habilitados, e assim, há energia excedente que flui para a rede elétrica e para as baterias. Desta forma, com a energia fluindo do sistema solar para rede elétrica e para as baterias, tem-se a análise do fluxo de potência.

### Análise de Potência

$$P_{FontesRenováveis} = P_{RedeElétrica} + P_{Bateria} \quad (1)$$

$$\therefore P_{AR3} = P_{Xantrex} + P_{Bateria}$$

$$1080W \cong 890W + 171W$$

$$1080W \cong 1061W$$

Por meio deste cálculo, nota-se que a leitura pelo CLP está com valores coerentes, funcionando corretamente a automatização, e os valores que são transferidos e exibidos pelo sistema SCADA.

Observa-se que há uma pequena diferença entre os valores lidos diretamente do Xantrex e do AR4, sendo estes respectivamente 869W e 890W. Não sabe-se a fonte do erro, mas presume-se que esta diferença ocorra devido a erros presentes nos medidores e não na leitura pelo CLP, ou devido a energia consumida pelo Xantrex não ser contabilizada no cálculo da potência. Se fosse considerado o valor da potência dada por AR4, ter-se-ia um valor total de 1040W, ainda próximo do valor de  $P_{AR3}$  de 1080W. Reitera-se que estes dados lidos foram armazenados em variáveis reais, não ocorrendo erro devido ao armazenamento.

Observa-se ainda da Figura 34, no quadro em verde claro que contém os dados lidos na entrada das fontes renováveis pelo Xantrex, que este não apresenta leitura da corrente e potência, apenas da tensão. Contudo, dever-se-ia apresentar um valor de corrente, e desta forma, neste caso possa haver algum erro de leitura ou na passagem do valor para o sistema SCADA.

Um fato importante a ressaltar, é que a planta de gaseificação é um sistema caro para colocar-se em operação, pois envolve a queima de produtos, e em seguida, necessita-se uma correta limpeza quando a planta é desligada. Assim, esta planta não opera de forma contínua, diferente do sistema solar e eólico. Além do que, como sua parte estava já concluída, presume-se que opera perfeitamente, e por isso, testou-se a microgrid sem colocar em operação a planta de gaseificação.

## 2º Ensaio – Microgrid com cargas de 1kW.

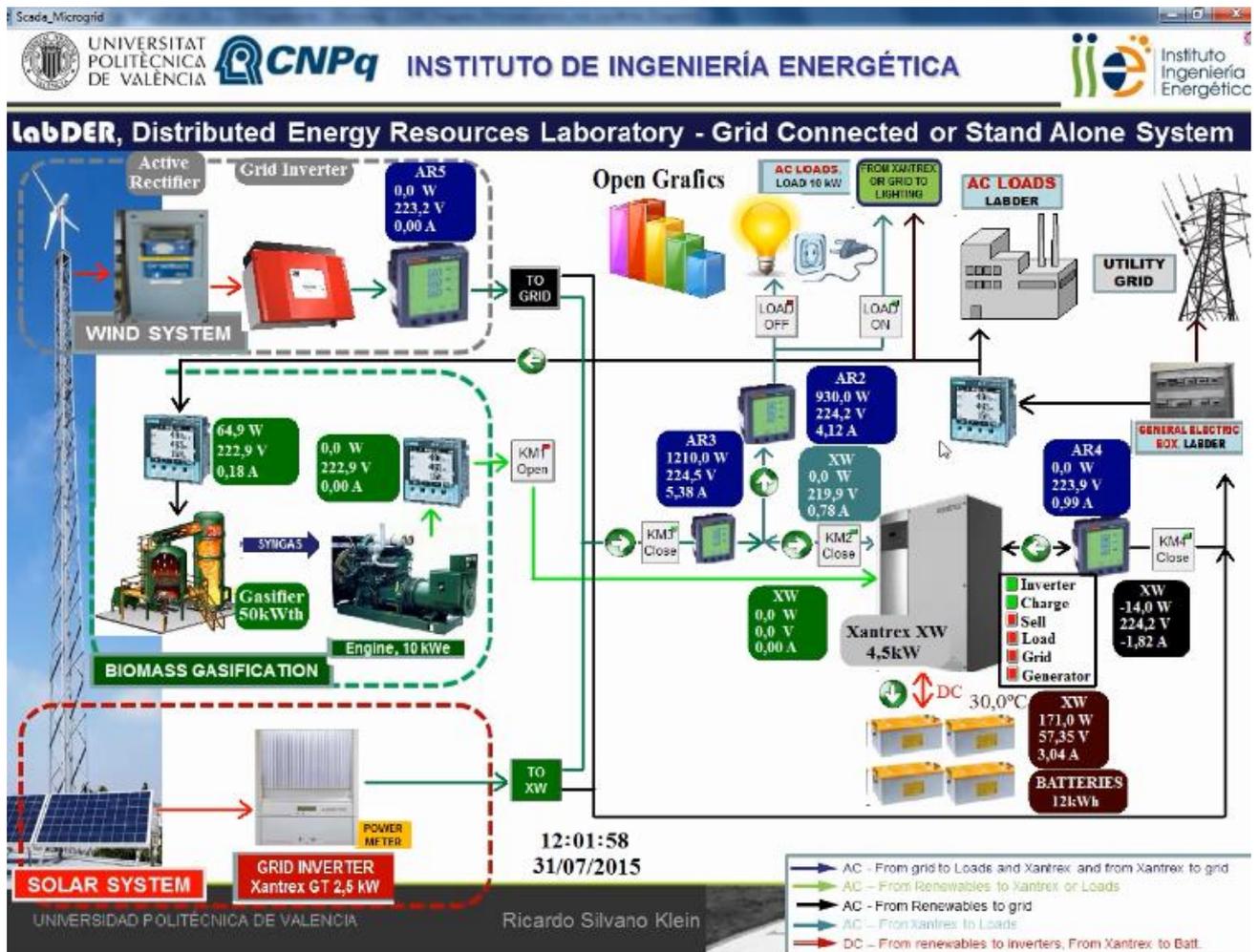


Figura 35: 2º Ensaio

A partir da Figura 35 nota-se que estão conectados o sistema solar, a bateria e uma carga de 1kW. Procedendo como anteriormente, obtém-se o cálculo a seguir.

## Análise de Potência

$$P_{FontesRenováveis} + P_{RedeElétrica} = P_{Bateria} + P_{Cargas} \quad (2)$$

$$\therefore P_{AR3} + P_{AR4} = P_{AR2} + P_{Bateria}$$

$$1210W + 0 \cong 930W + 171W$$

$$1210W \cong 1101W$$

Nota-se que novamente os valores são próximos, mas não exatos, com possíveis erros como discutidos anteriormente. Se fosse considerado o valor de  $P_{Xantrex}$  e não de  $P_{AR4}$  teria-se um valor de  $1996W$  no lado esquerdo.

### 3º Ensaio – Sem baterias e com carga de 1kW.

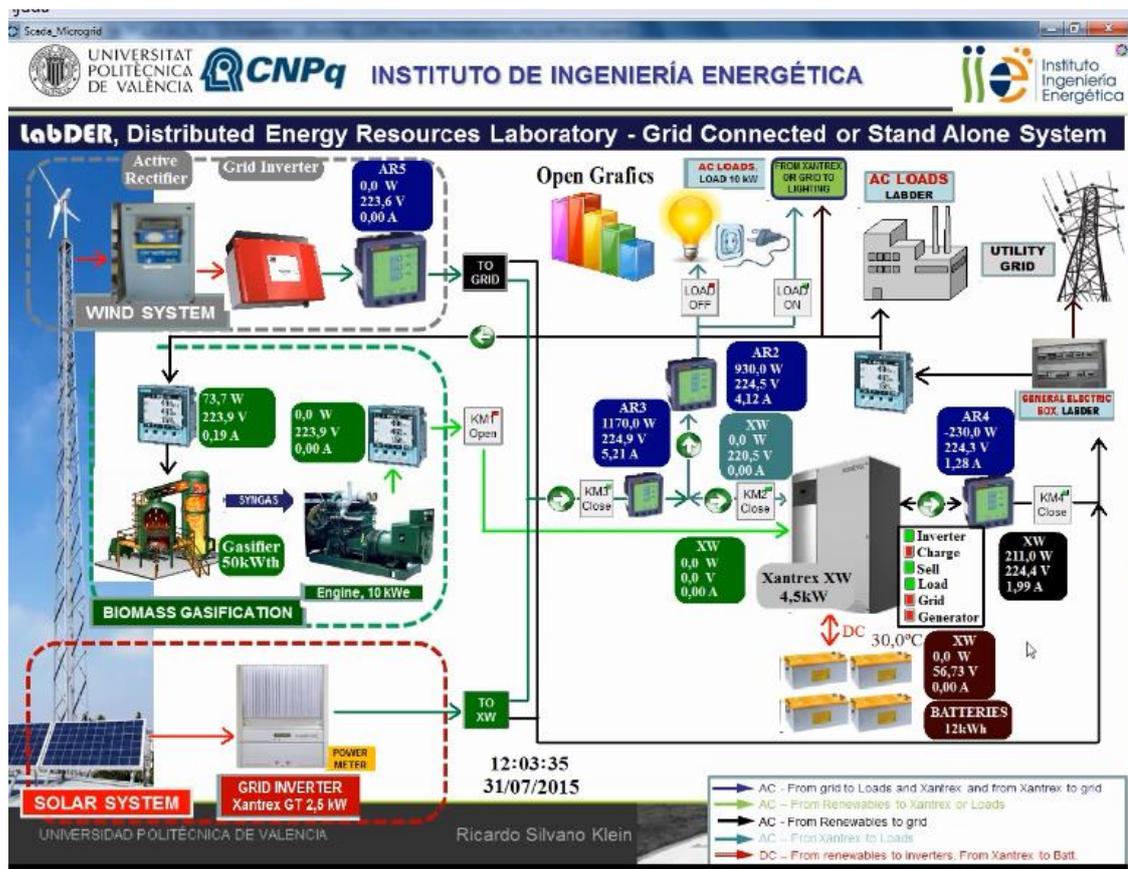


Figura 36: 3º Ensaio

Na Figura 36 observa-se que uma das cargas está habilitada, e o modo conversão de energia esta desabilitado, o que impede o carregamento da bateria. Como a energia proveniente do sistema solar é superior ao consumido pelas cargas, o excesso desta energia é direcionado para a rede elétrica.

#### Análise de Potência

$$P_{FontesRenováveis} = P_{Cargas} + P_{RedeElétrica} \quad (3)$$

$$\therefore P_{AR3} = P_{AR2} + P_{AR4}$$

$$1170W \cong 930W + 230W$$

$$1170W \cong 1160W$$

Neste ensaio, ao utilizar-se apenas os valores lidos pelos medidores de potência, observa-se que o valor de potência gerado e consumido foi mais próximo, com apenas 10W de diferença. Ao considerar-se o valor de  $P_{Xantrex}$  ao invés de  $P_{AR4}$ , tem-se uma diferença maior, de 29W.

#### 4º Ensaio – Bateria e Carga de 1kW.

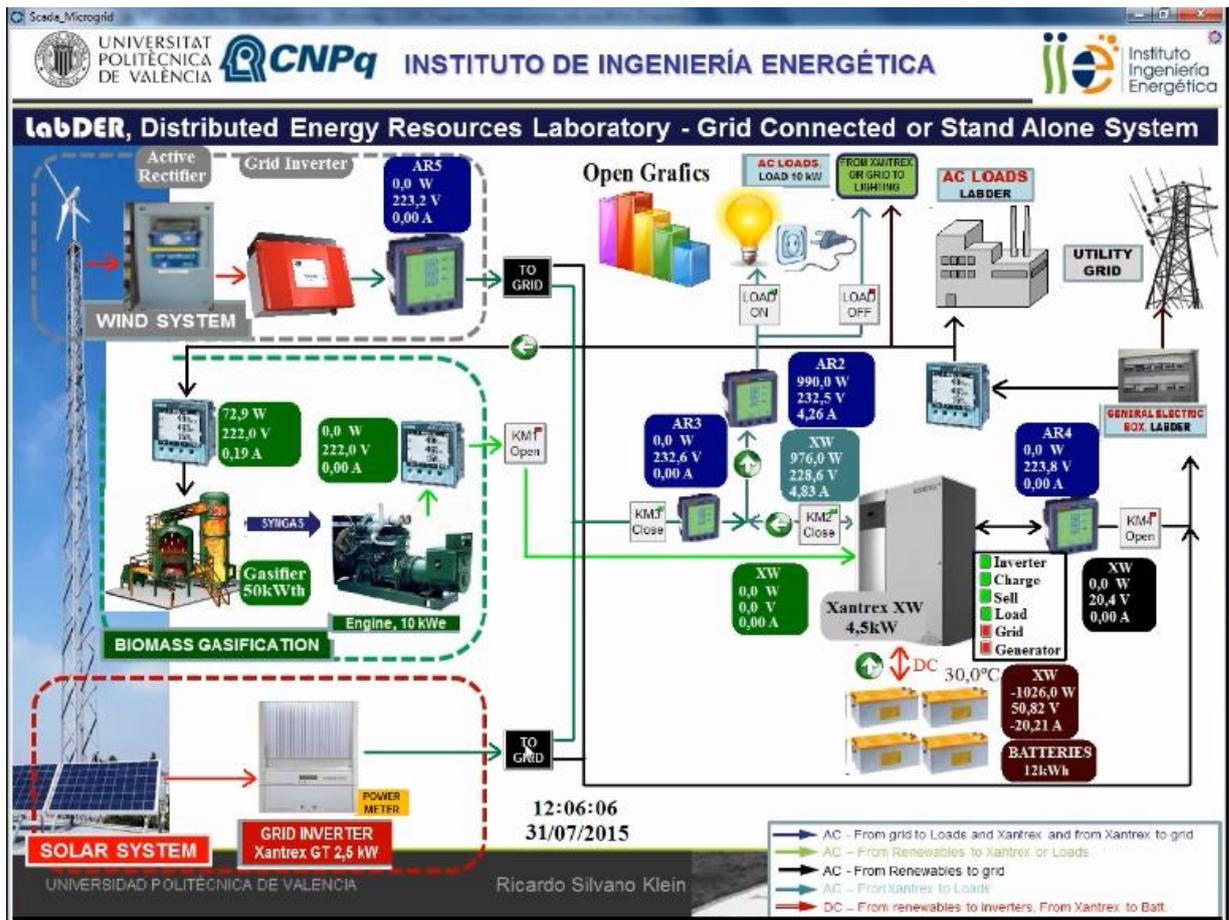


Figura 37: 4º Ensaio

Observa-se da Figura 37 que a energia do sistema solar e eólico vai diretamente para a rede elétrica, e assim, na microgrid apenas tem-se a bateria e uma carga de 1kW.

#### Análise de Potência

$$P_{Bateria} = P_{Carga} \quad (4)$$

$$\therefore P_{Bateria} = P_{AR2}$$

$$1026 \cong 990W$$

Como já mencionado anteriormente, esta diferença no valor do cálculo da potência pode ser devido a potência consumida pelo próprio Xantrex durante a operação, a qual não foi medida diretamente.

Finalmente, o último ensaio realizado foi para verificar a escrita dos registros. Para este, alterou-se a tensão mínima de AC2 de 180V para 210V e a tensão de recarga no inversor de 50V para 55V. Na Figura 38 tem-se a página antes da escrita, e na Figura 39 depois da escrita.

CONFIS XV

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CNPq INSTITUTO DE INGENIERÍA ENERGÉTICA Instituto Ingeniería Energética

	AC1	AC2	CHARGER	
Low Voltage	200,0 V	180,0 V	Maximum Charge Rate	100 %
High Voltage	260,0 V	265,0 V	Charge Cycle	3
Low Frequency	45,00 Hz	45,00 Hz	Charge Start	0,0 min
High Frequency	55,00 Hz	55,00 Hz	Charge Stop	0,0 min

BATTERY		INVERTER	
Nominal Voltage [V]	48,00	Recharge Voltage	50,0 V
Battery Type	0	Maximum Search Watts	50,0 W
Temperature Type	1	Search Delay	2,00 s
Bank Capacity [Ah]	250,00	Grid Support Voltage	0,0 V
Temp. Coefficient [mV/K]	200,00	Maximum Sell Amps	20,00 A
Bulk/Boost Voltage [V]	57,60	Load Shave Amps	44,00 A
Float Voltage [V]	54,00		
Equalize Voltage [V]	64,00		
Absorption Time [s]	10800,00		

Maximum Voltage	Minimum Voltage
Maximum Value [V] 70,00	Minimum Value [V] 40,00
Delay Time [s] 60,00	Delay Time [s] 10,00

Battery Type 0=Flooded 1=Gel 2=AGM 3=Custom  
 Temperature Type 0= Cold 1=Warm 2=Hot  
 Charge Cycle 1= 3 stage 2= 2 stage

EXIT

Figura 38: Antes da escrita no Xantrex

CONFIS XV

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CNPq INSTITUTO DE INGENIERÍA ENERGÉTICA Instituto Ingeniería Energética

	AC1	AC2	CHARGER	
Low Voltage	200,0 V	210,0 V	Maximum Charge Rate	100 %
High Voltage	260,0 V	265,0 V	Charge Cycle	3
Low Frequency	45,00 Hz	45,00 Hz	Charge Start	0,0 min
High Frequency	55,00 Hz	55,00 Hz	Charge Stop	0,0 min

BATTERY		INVERTER	
Nominal Voltage [V]	48,00	Recharge Voltage	55,0 V
Battery Type	0	Maximum Search Watts	50,0 W
Temperature Type	1	Search Delay	2,00 s
Bank Capacity [Ah]	250,00	Grid Support Voltage	0,0 V
Temp. Coefficient [mV/K]	200,00	Maximum Sell Amps	20,00 A
Bulk/Boost Voltage [V]	57,60	Load Shave Amps	44,00 A
Float Voltage [V]	54,00		
Equalize Voltage [V]	64,00		
Absorption Time [s]	10800,00		

Maximum Voltage	Minimum Voltage
Maximum Value [V] 70,00	Minimum Value [V] 40,00
Delay Time [s] 60,00	Delay Time [s] 10,00

Battery Type 0=Flooded 1=Gel 2=AGM 3=Custom  
 Temperature Type 0= Cold 1=Warm 2=Hot  
 Charge Cycle 1= 3 stage 2= 2 stage

EXIT

Figura 39: Depois da escrita no Xantrex

Neste ensaio da escrita, ocorreu a troca do valor instantaneamente e sem erro como desejado. Realizados estes ensaios, observa-se que de maneira geral os resultados medidos foram condizentes com o esperado, e desta forma o sistema de automatização e de supervisão estão operando como previstos, realizando a leitura, e permitindo o ajuste de parâmetros.

Em Anexo, consta a folha de avaliação final da Espanha, referente ao trabalho desenvolvido no IIE.

## 7.2 RESULTADOS NO DELET

A partir da metodologia descrita obteve-se o sistema de aquisição para a planta solar indicado na Figura 40. O Arduino ATmega 2560 e o Ethernet Shield W5100 estão acoplados, estando o Shield sobre o Arduino. O módulo com dois relés para acionamento esta no canto inferior direito, e a placa para medida dos valores físicos de tensão e corrente encontra-se no canto inferior esquerdo dentro da caixa, como pode ser visualizado na imagem acima à direita da Figura 40.

Todo o sistema foi colocado e fixado dentro de uma caixa de distribuição para que fique mais organizado. Ainda, conectou-se uma régua com três tomadas para conexão de cargas ao sistema, que suporta até 10A, mesmo valor nominal de cada um dos relés.

Na parte abaixo da caixa, têm-se à esquerda na primeira fileira os bornes de conexão aos painéis fotovoltaicos, e na segunda fileira os bornes para alimentação do sensor de corrente; à direita, tem-se os bornes para conexão da saída, em que a fase passa pelo relé.



Figura 40: Sistema físico de medida

O sistema de supervisão à distância com acesso pelo navegador web encontra-se exposto na Figura 41 e o sistema supervisorio local com acionamentos encontra-se exposto na Figura 42. Ambos os sistemas funcionam paralelamente, com o Arduino medindo e enviando os valores de tensão e corrente.

No sistema à distância pode-se ver que se acessa a página criada pelo Arduino, com o endereço IP no navegador web, que corresponde ao endereço IP 143.54.215.230, como pode ser visualizado na Figura 41. Os dados são enviados pelo Arduino pela Ethernet a cada 0,5s e a página é atualizada automaticamente.

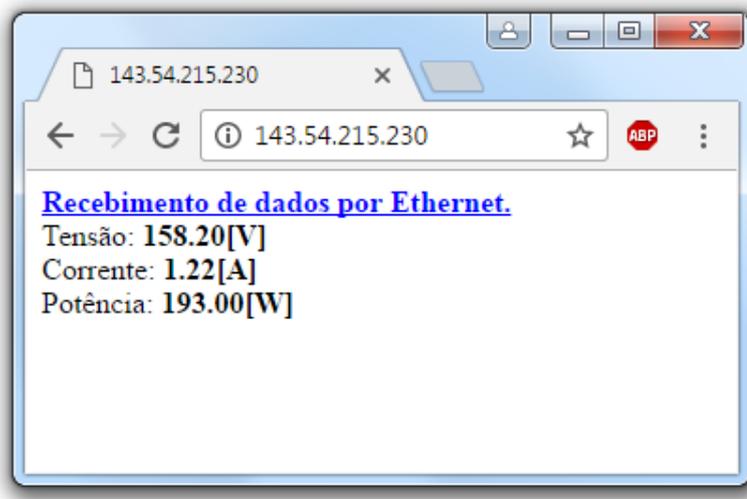


Figura 41: Sistema supervisor Ethernet com dados exibidos no navegador

No sistema de supervisão local com acionamentos desenvolvido, tem-se um aplicativo executável que funciona em qualquer computador windows, e possui uma interface mais amigável para o operador, com possibilidade de acionamentos de conexão. Ainda, na parte inferior, exibem-se dois gráficos dos valores de tensão e corrente medidos, além dos valores exibidos de tensão, corrente e potência instantânea.

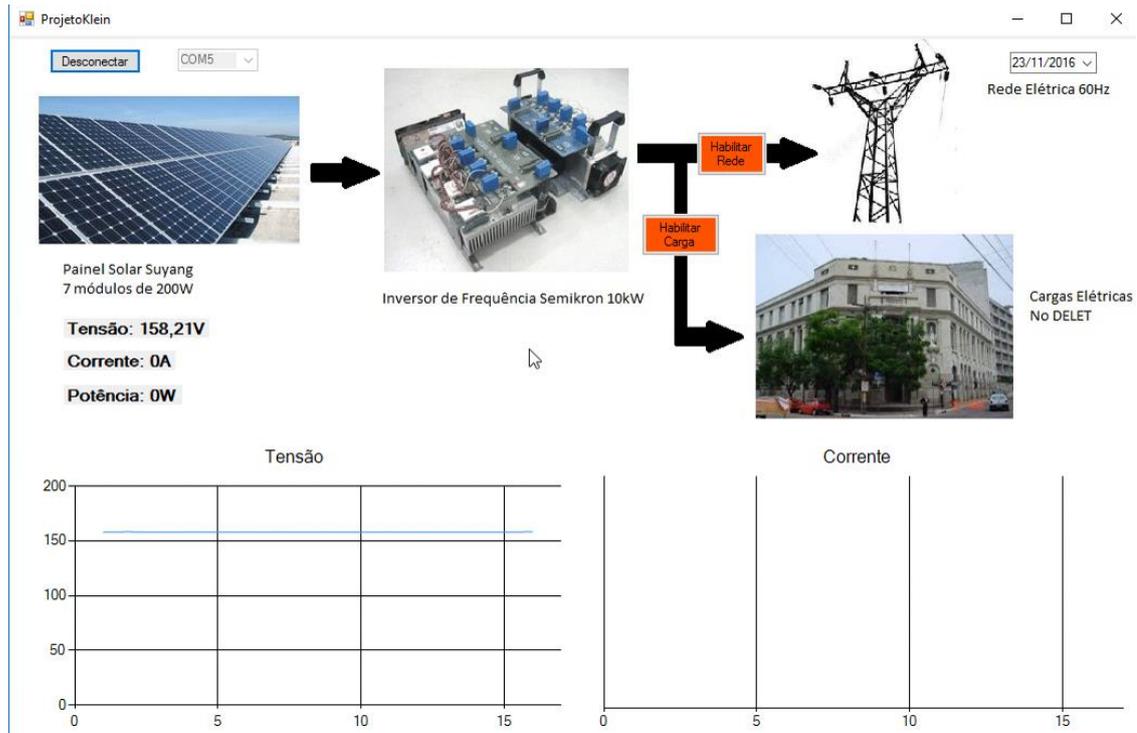


Figura 42: Sistema de medição local com acionamentos sem carga habilitada

Para verificar a funcionalidade do sistema supervisorio, realizaram-se testes comparando o valor medido pelo Arduino com o valor indicado por um multímetro, sendo que o teste final foi realizado dia 23 de novembro. Neste teste final, infelizmente não se conectou o inversor, e realizou-se apenas teste da funcionalidade do sistema, conectando o sistema de medida da tensão para medir a tensão fornecida de 4 painéis solares em série. E para medir a corrente, utilizaram-se duas cargas resistivas (ferro de solda) conectadas à regua da tomada, sendo que na entrada, em vez da saída do inversor, tinha-se a saída do painel solar em CC.

Na Figura 41 observa-se o valor de 158,2V, semelhante aos valores medidos de tensão na Figura 42 e 43, respectivamente de 158,21V e 158,66V. Com um multímetro analógico neste momento media-se 158,2V, na escala de 200V. Possíveis erros eram esperados na medida da tensão devido ao sistema de medida com divisor resistivo, em que se mediu uma parcela da tensão total com o Arduino, e devido à resolução do Arduino no conversor AD (Analógico-Digital) de 10 bits. Na medida de corrente, esperava-se erros devido ao sensor, que possui incerteza de 5% em relação à corrente nominal, além de erros pelo conversor AD.

Na Figura 42 têm-se as cargas desabilitadas, e por este motivo, não há corrente, enquanto que na Figura 43 acionou-se a carga para conexão, medindo desta forma a corrente de 1,22A, que é igual ao valor indicado pelo navegador web e pela pinça amperimétrica.

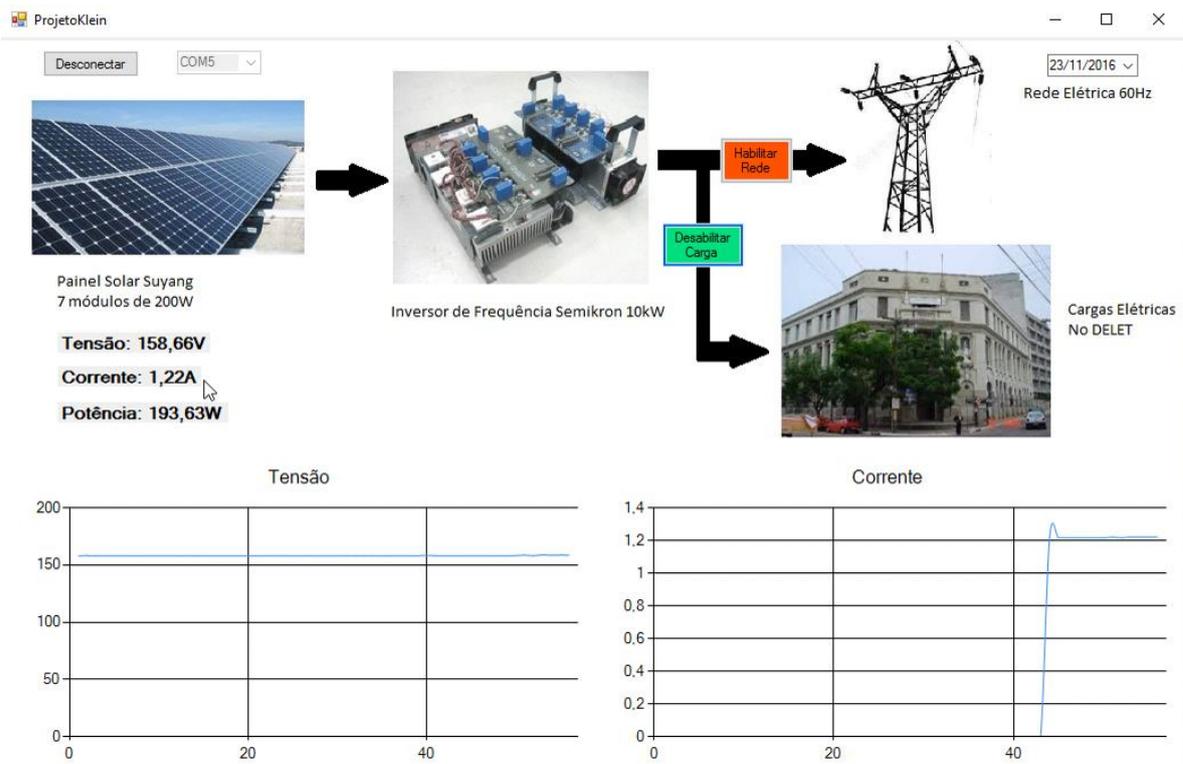


Figura 43: Sistema de medição local com acionamentos com carga habilitada

Nota-se do gráfico da corrente que há um pico no início da forma de onda, a qual não se conseguiu distinguir se foi erro devido a leitura do Arduino ou devido à resposta impulsiva da carga. Este erro poderia ser ainda devido à resposta do relé, que além de introduzir atraso, possui uma resposta impulsiva por tratar-se de um indutor, que ao passar corrente irá gerar um pico contrário à variação de corrente.

Convém destacar que a resposta do acionamento do relé é muito rápida, que embora não tenha sido medida, observa-se que é imperceptível ao operador o atraso.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as conclusões do projeto, abordando os objetivos deste projeto em conjunto com as contribuições de forma sucinta. Em seguida, são apresentados possíveis trabalhos futuros para a automatização e supervisão realizada no IIE, assim como, do supervísório feito no DELET.

### 8.1 CONCLUSÕES

Primeiramente, analisou-se o crescente uso e investimentos em energias renováveis, que levam ao aumento de geração distribuída. A partir destas fontes, tem-se como aplicação as microgrid, que operarem independentes da rede, como em locais distantes de mineração, ou interligados a rede, incentivando a comunidade local a respeito do uso sustentável da energia.

Em seguida, apresentou-se a automatização, com ênfase nos motivos, objetivos e vantagens, e apresentou-se como podem originar sistemas supervisórios, que servem como sistema de fácil visualização e controle para o operador final do processo.

Na análise dos regulamentos a respeito da conexão de acesso das microgrids ao sistema de distribuição brasileiro observam-se simplificações quando se tem microgeração, em que a capacidade de geração não ultrapassa 75kW, como são os casos da microgrids disponíveis tanto no DELET quanto no IIE. Entre estas simplificações, destacam-se a não obrigatoriedade de alguns equipamentos nos requisitos de projeto, como transformador acoplador, além do que, observa-se menor tempo total para obter acesso ao sistema de distribuição e responsabilidade de adequação para medida bidirecional por parte da distribuidora.

Destaca-se ainda o incentivo à conexão de fontes de geração distribuída, propiciado pelo sistema de compensação de energia de energia elétrica implementado pela REN nº 482. A partir deste sistema de contabilização, não há necessidade nas microgrids da implementação de baterias ou outro sistema de armazenamento, tendo-se em vista que ao conectar com a rede elétrica, a própria rede elétrica (SIN) atua como uma grande reserva da energia excedente.

Na apresentação do procedimento adotado na Espanha, explanaram-se os equipamentos utilizados, com uma breve descrição de cada um em conjunto com seu uso na automatização e na supervisão, sendo útil assim para o entendimento geral do funcionamento da microgrid e de como automatiza-la. Especificamente na explicação dos passos realizados na programação em linguagem ladder e no desenvolvimento do sistema SCADA, encontra-se

um bom material para orientação daqueles que desejam iniciar projetos de automação e supervisão.

No desenvolvimento do sistema realizado no DELET, explicou-se o método de envio de dados por wi-fi, que poderia também ser utilizado, além dos métodos escolhidos por Ethernet e serial, utilizados respectivamente no sistema à distância e local desenvolvidos.

Nos resultados, apresentaram-se primeiramente as páginas desenvolvidas no SCADA no sistema desenvolvido na Espanha, que são decorrentes de toda comunicação entre os aparelhos realizados por Modbus TCP/IP, da automação e da supervisão realizados na microgrid. Ainda, realizaram-se testes para averiguação dos resultados obtidos, sendo estes de leitura e de escrita dos registros, com posterior análise do fluxo de potência, para assim verificar se estão condizentes.

Em seguida, apresentaram-se os resultados no DELET, em que se obtiveram dois sistemas de visualização a partir dos dados medidos. Um destes é mais simples, de visualização a distância dos valores de tensão, corrente e potência via Ethernet. O segundo é local, mas possui em contrapartida acionamento de relés, que possibilitam a conexão e desconexão com cargas ou com a rede elétrica.

A microgrid no IIE, em razão de dispor de mais fontes energéticas, baterias e operar interligada à rede elétrica, assim como dispor de muitos equipamentos de alta tecnologia voltados à automatização, faz com que esta microgrid torne-se um sistema muito confiável, com possível uso do sistema de automatização e supervisão com fins comerciais..

Em relação ao projeto desenvolvido no DELET, tem-se apenas uma fonte energética, não se dispõe de baterias, até o momento não possui conexão com a rede elétrica, e pode haver cargas conectadas, o que torna o sistema supervisorio mais simples. Por estas razões apenas mediram-se os dois valores de tensão e corrente, que representariam a geração, e implementou-se acionamento de relés para acionamento de cargas e para possível conexão com a rede elétrica.

Observa-se que o supervisorio obtido é simples e de baixo custo, com grande possibilidade de modularização - ao conectar outros módulos ao arduino - e com diferencial dos dados estarem disponíveis à distância, pela internet. Neste sistema, em contraste ao desenvolvido na Espanha para fins comerciais, teve-se como prioridade no desenvolvimento o uso de programas disponíveis para uso gratuito no ambiente acadêmico, e por esta razão, utilizou-se o Microsoft Visual C#. Para este sistema, almeja-se servir como base para outros trabalhos acadêmicos no DELET, como vêm ocorrendo no IIE, em que continuei o trabalho desenvolvido por outra aluna no semestre anterior, referente a automatização da planta de

gaseificação, sendo que desenvolvi a automação e supervisão de toda a planta microgrid aproveitando o que o projeto que já havia da planta de gaseificação.

Desta forma, conclui-se por meio dos resultados alcançados que se obteve o objetivo final. Realizou-se a apresentação do sistema desenvolvido no IIE de automatização e supervisão da microgrid, e desenvolveu-se uma aplicação de supervisão para a planta piloto de energia solar no DELET.

## **8.2 TRABALHOS FUTUROS**

A respeito de possíveis trabalhos futuros decorrentes deste projeto, há muitas possibilidades de novas implementações e melhorias, podendo resultar em muitos outros projetos. Primeiramente, ao colocar-se o sistema implementado no IIE operando por mais tempo, poder-se-ia desenvolver um sistema de controle baseado no histórico de geração e consumo da microgrid, tornando-se um sistema inteligente, uma Smart Grid.

Para o sistema SCADA, poderia ser criada mais uma página de alarmes, para indicar erros e irregularidades de toda planta microgrid. Isso tendo em vista que até o momento havia apenas os alarmes da planta de gaseificação. Na página de gráficos, poderiam-se exibir outros gráficos referentes à corrente ou tensão, e dispor a escolha de quais dados são exibidos.

Ainda, este sistema supervísório SCADA desenvolvido no IIE poderia ser colocado online, para desta forma não estar restrito a um computador dedicado, e obter-se uma supervisão e controle da microgrid à distância.

Para o sistema desenvolvido na DELET, na planta piloto de energia solar, poder-se-ia projetar os outros sistemas envolvidos em uma microgrid, como conversores de tensão CC-CC para a tensão dos painéis solares com sistema de controle adequado, ou supervisão do consumo nas cargas, devido ao fato de ter sido realizada a supervisão apenas na geração. Ainda, poderia-se implementar outro modo de envio de informações, sendo mais adequado por wifi devido ao fato da conexão física Ethernet localizar-se muito distante dos painéis.

Além disso, poderia-se conectar efetivamente este sistema à rede elétrica no sistema de distribuição, entrando-se em contato com a distribuidora e solicitando acesso, conforme explicado na Seção 4.2.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA. DECRETO Nº 5.025, DE 30 DE MARÇO DE 2004. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d5025.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5025.htm)> Acesso em: 20 out. 2016.
- [2] Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. Revisão 7. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-8>> Acesso em: 25 out. 2016.
- [3] Instituto de Ingeniería Energética – IIE. MICRORED . [online] Disponível em: <http://iie.webs.upv.es/labder/componentes-labder/e%29-microred>. Acessado em: 20-jul-2015.
- [4] Directorate-General for Energy. "Energy 2020 - A strategy for competitive, sustainable and secure energy". European Commission. Belgium, 2011. ISBN 978-92-79-18869-5.
- [5] REN 21 – Renewables Energy Policy Network for the 21st century, “Renewables 2015 - Global Status Report.” Paris. ISBN 978-3-9815934-6-4. Março de 2015.
- [6] MOHAMED, F. A.; KOIVO, H. N. “Multiobjective optimization using mesh adaptive direct search for power dispatch problem of microgrid”. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2012.
- [7] Planejamento Estratégico PE 2016-2020 e Performance Organizacional PO 2016. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2015/073/documento/3\\_-\\_planejamento\\_estrategico\\_2016-2020\\_e\\_performance\\_organizacional\\_-\\_po\\_2016.pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2015/073/documento/3_-_planejamento_estrategico_2016-2020_e_performance_organizacional_-_po_2016.pdf)> Acesso em: 15 out. 2016.
- [8] CAÑIZARES, C. A. et. al. Trends in Microgrid Control. IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 5, no. 4, 2014.
- [9] KHODAEI, A. “State of the Art in Research on Microgrids: A Review”. Julho de 2015.
- [10] Renewable Microgrids: profiles from islands and remote communities across the globe. Rocky Mountain Institute and Carbon War Room. Disponível em: <[WWW.RMI.ORG/ISLANDS\\_RENEWABLE\\_MICROGRIDS](http://WWW.RMI.ORG/ISLANDS_RENEWABLE_MICROGRIDS)> Publicado em novembro de 2015. Acesso em: 12 out. 2016.
- [11] Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição. Revisão 6. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-3>> Acesso em: 28 out. 2016.
- [12] IEEE 1547.4 – 2011 - IEEE Guide for Design, Operation, and Integration of Distributed Resource Island Systems with Electric Power Systems. Publicado em: 20 jul. 2011. ISBN: 978-0-7381-6688-9. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5960751>> Acesso em: 02 ago. 2015.
- [13] CleanSpark – More than Power. Disponível em: < <http://www.cleanspark.com>> Acesso em 06 out. 2016.

[14] European Commission, “European SmartGrids technology platform: vision and strategy for Europe’s electricity networks of the future,” European Commission, Belgium, vol. 22040, 2006.

[15] ABB Power Generation, “Microgrids for industry applications”. [online] Disponível em: <<http://new.abb.com/power-generation/microgrids-solutions/microgrid-and-stabilization-for-mining>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

[16] IEEE P1547.8 Recommended Practice for Establishing Methods and Procedures that Provide Supplemental Support for Implementation Strategies for Expanded Use of IEEE Standard 1547. Disponível em: <[ieeexplore.ieee.org/iel5/6267012/6281396/06281453.pdf](http://ieeexplore.ieee.org/iel5/6267012/6281396/06281453.pdf)> ISBN: 978-0-7381-9290-1.

[17] HOSSEIN, H et. al. Microgrid Communications: State of the Art and Future Trends. 3rd The International Conference on Renewable Energy Research and Applications. Publicado: 19 out. 2014, Milwaukee-USA.

[18] IEC 61850-7-420. International Standard. Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-420: Basic communication structure – Distributed energy resources logical nodes. Edição 1.0 2009-03. Disponível em: <[http://webstore.iec.ch/preview/info\\_iec61850-7-420%7Bed1.0%7Den.pdf](http://webstore.iec.ch/preview/info_iec61850-7-420%7Bed1.0%7Den.pdf)>

[19] IEC/TR 61850-90-7. Technical Report. Communication networks and systems for power utility automation – Part 90-7: Object models for power converters in distributed energy resources (DER) systems. Edição 1.0 2013-02. Disponível em: <[https://webstore.iec.ch/preview/info\\_iec61850-90-7%7Bed1.0%7Den.pdf](https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61850-90-7%7Bed1.0%7Den.pdf)>

[20] MODBUS® Protocol. “MODBUS Application Protocol”. V1.1b3. The Modbus Organization. 26 de abril de 2012.

[21] LEI No 10.848, de 15 de março de 2004. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/lei/110.848.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.848.htm)> Acesso em: 18 out. 2016.

[22] DECRETO Nº 5.163 de 30 de julho de 2004. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163.htm)> Acesso em: 18 out. 2016.

[23] RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414, DE 9 DE SETEMBRO DE 2010. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/3bd33297-26f9-4ddf-94c3-f01d76d6f14a?version=1.0>> Acesso em 25 out. 2016.

[24] RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> Acesso em 01 nov. 2016.

[25] RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>> Acesso em 06 nov. 2016.

[26] VELLUCCI, C. Design and implementation of automation, control and data acquisition system: application to a bubbling fluidized bed biomass gasification plant. UPV, Espanha. Fevereiro de 2015.

- [27] CJ2M Series Manual. “SYSMAC CJ-series CJ2M CPU Units, Pulse I/O Modules CJ2M-CPU3@/-CPU1@/-MD21@”. CSM CJ2M-CPU3-CPU1-MD21 DS E 10 1. Omron.
- [28] User’s Manual CJ2M. “CJ2M CPU Unit Pulse I/O Module”. Cat. No. W486-E1-01. Omron. Julho 2010.
- [29] CP1L Series Manual. “CP series CP1L CPU Unit CP1L-EM@@D@-D/CP1L-EL@@D@-D CP1L-M@@DR-A/CP1L-L@@DR-A”. Cat. No. P081-E1-02. Omron.
- [30] CP1L Operation Manual. “CP1L CPU Unit Operation Manual”. Cat. No. W462-E1-07. Omron. Maio 2010.
- [31] Inversor solar Xantrex para conexão a la red. “Manual del usuario”. Ref: 975-0253-02-01 Revision F. Schneider Electric. Agosto 2009.
- [32] Conext XW/XW Device. “Modbus Address Map: Conext™ XW/XW”. Ref: 503-0246-01-01 Revisão A.3. Schneider Electric.
- [33] Conext™ ComBox Communication and Monitoring Device. Owner’s Guide. Document Number: 975-0679-01-01. Revision: Revision D. Agosto 2013.
- [34] Reliable and precise monitoring of electrical power systems. SENTRON PAC 3200. Order No: PCPM-P3200-0411. Siemens Industries, USA.
- [35] SENTRON PAC3200. “SENTRON PAC3200 Manual”. Ref: A5E01168664B-03. Siemens AG. Outubro 2007.
- [36] PowerLogic® PM710/PM750 - Power and energy meters. Schneider Electric - North America. Documento: #3020HO0701. Janeiro 2007.
- [37] Power Meter 710. “Reference Manual”. Ref: 63230-501-209A1. Schneider Electric. Julho 2008. Apendice B. Pag 28-29.
- [38] Software Multiway. “Multiway - Free utility communication software multi protocols for Omron PLC's”. Version V10.0. Omron.
- [39] CX-Programmer - User Manual. “CX-Programmer User Manual”. Versão 3.0. Omron.
- [40] Software CX-Supervisor User Manual. “Software CX-Supervisor. User Manual”. Cat No. W10E-EN-01. Software Release 3.1. Omron.
- [41] Software CX-Supervisor Language Reference. “Script Language Reference”. Cat No. W09E-EN-01. Software Release 3.1. Omron.
- [42] OMRON FB Library. Start-up Guide. Cat. No. R123-E01-01. Japan.
- [43] REGIS C. “Function Block Modbus TCP Fn 03”. Ref: Modbus\_TCP\_Fn\_03. Revisão 2.3. Omron. 5 de setembro de 2011.

**ANEXO**



D/D<sup>a</sup> Divina Gracia Conesa, técnico de la Oficina de Programas Internacionales de Intercambio de la Universitat Politècnica de València, por la presente

**CERTIFICA:**

Que D/D<sup>a</sup> Ricardo Silvano Klein con CPF 023.790.980-42, estudiante en la Universitat Politècnica de València en el marco del Programa Ciencia sin Fronteras - España, Convocatoria Nº 178/2013, correspondiente al curso académico 2014-2015, ha realizado prácticas en los términos que se detallan a continuación:

**Fecha de inicio:** 03/03/2015

**Fecha de finalización:** 31/07/2015

**Carga horaria:** 500h

**Créditos:** 25 ECTS

**Nota:** 9,5

**Centro/Dependencia/Empresa:** Instituto de Ingeniería Energética – IIE - UPV

**Descripción de la práctica:** Automatización, control y adquisición de datos de una micro-red de energías renovables. Las tareas realizadas siguen:

- Comunicación del autómata con el resto de dispositivos por Modbus TCP/IP.
- Programa de automatización del micro-red. Programa adquiere y escribe los datos.
- Programa SCADA para controlar la planta micro-red. Visualizar y configurar los datos.
- Ensayos y pruebas de funcionamiento del micro-red desarrollado con variables reales.

**Tutores de la práctica:** Ángel Pérez-Navarro Gómez , Carlos Vargas Salgado

El estudiante de nombre Ricardo Silvano Klein:

- **Inició las prácticas** ofrecidas por la universidad de acogida y las finalizó satisfactoriamente en los términos indicados.

Y para que conste a los efectos oportunos, expide la presente en Valencia, a 31 de Julio de 2015.

Firma (y sello) Universidad

Firma (del estudiante)

Firma de los tutores de la práctica



Fdo.: Ángel Pérez-Navarro Gómez

Fdo.: Carlos Vargas Salgado