

Daniel Abrantes Formiga

**Implementação de um laboratório remoto para
um sistema supervisório utilizando as redes
industriais AS-i e Profibus-DP**

Campina Grande, Brasil

10 de abril de 2017

Daniel Abrantes Formiga

Implementação de um laboratório remoto para um sistema supervisório utilizando as redes industriais AS-i e Profibus-DP

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Graduado em Engenharia Elétrica.

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
Centro de Engenharia Elétrica e Informática - CEEI
Departamento de Engenharia Elétrica - DEE

Orientador: Jaidilson Jó da Silva, D.Sc.

Campina Grande, Brasil

10 de abril de 2017

Daniel Abrantes Formiga

Implementação de um laboratório remoto para um sistema supervisório utilizando as redes industriais AS-i e Profibus-DP

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Graduado em Engenharia Elétrica.

Trabalho aprovado em: 10/04/2017

Jaidilson Jó da Silva, D.Sc.
Orientador

Gutemberg Gonçalves dos Santos Junior, D.Sc.
Convidado

Campina Grande, Brasil
10 de abril de 2017

*Dedico este trabalho aos meus amados pais, Tereza Cristina Abrantes Formiga e
Fabrício Bezerra Formiga, à minha família, em especial, à minha querida e falecida
madrinha Ana Cláudia Abrantes Pordeus Brandão.*

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus por me dar o dom da vida. Em seguida, aos meus pais, Tereza e Fabrício, por todo o amor que me deram, pelos ensinamentos passados e pelo suporte que me foi dado ao longo do caminho para que obtivesse sucesso nos estudos.

Às minhas irmãs, Aline e Camila, agradeço por sempre terem convivido comigo, pelo carinho que me deram mesmo nos momentos adversos e pelo auxílio nas horas que precisei.

À minha namorada, Marina, agradeço por ser minha confidente e companheira, com quem pude dividir, diariamente, todas as minhas aflições e dificuldades que encontrei durante essa jornada e continuamente, deu-me forças para não desistir em momento algum e ajudou-me a superar cada barreira.

Agradeço aos meus familiares por sempre me apoiarem, mesmo estando distante em vários momentos. Aos meus amigos, em especial colegas de apartamento, por me darem forças a continuar e pelos momentos de descontração. E também, aos meus amigos do Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC) por todo o auxílio.

Aos meus professores, por todos os ensinamentos e oportunidades que me foram dadas, em especial ao professor Jaidilson, que me orientou no projeto de iniciação científica e nesse trabalho de conclusão de curso, e Waslon, que me orientou no meu primeiro projeto de iniciação científica.

"It's fine to celebrate success but it is more important to heed the lessons of failure. "
Bill Gates

Resumo

O laboratório remoto é uma ferramenta de ensino que auxilia no aprendizado prático de alunos que não têm acesso a uma boa infraestrutura laboratorial, possibilitando o controle e acompanhamento de um experimento montado fisicamente, via *internet*. No Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), desenvolveu-se um laboratório remoto que pode ser aplicado à disciplinas como Instrumentação Eletrônica e Sistemas de Automação Industrial, cujo experimento consiste em um sistema supervisório que monitora os sensores de um protótipo de esteira industrial que são conectados a um controlador lógico programável (CLP) pelas redes industriais AS-i e Profibus-DP, cuja interface homem-máquina foi implementada no *software* LabVIEW da National Instruments.

Palavras-chaves: Laboratório Remoto; Sistemas Supervisório; Redes Industriais.

Abstract

The remote laboratory is an educational tool that helps the practical learning of students who does not have access to a laboratory with a high quality infrastructure, enabling the control and the real time monitoring of the physically assembled experiment, via the internet. In the Electronics Instrumentation and Control Laboratory (LIEC) of the Federal University of Campina Grande (UFCG), it was developed a remote laboratory that can be used in some courses as Electronics Instrumentation and Industrial Automation Systems, which experiment is a supervisory system that monitors the sensors of an industrial belt conveyor prototype that are connected to a programmable logic controller (PLC) with the industrial networks AS-i and Profibus-DP, which user interface of the system has been implemented in LabVIEW, a National Instrument's software.

Key-words: Remote Laboratory; Supervisory Systems; Industrial Networks.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Esquema do sistema supervisorio desenvolvido no projeto	2
Figura 2 – Fotografia do CLP SIMATIC S7-300	3
Figura 3 – Fotografia do <i>PC-Adapter</i>	4
Figura 4 – Representação do <i>DP/AS-i Link</i>	5
Figura 5 – Representação do corte seccional do cabo de uma rede AS-i	5
Figura 6 – Representação do módulo AS-i	6
Figura 7 – Representação do endereçador AS-i	6
Figura 8 – Esquema representativo do protocolo Profibus-DP	7
Figura 9 – Representação do funcionamento do acesso das estações mestres à rede Profibus-DP	8
Figura 10 – Representação do sensor fotoelétrico VF AS-I da Sense	9
Figura 11 – Representação do sensor indutivo Pentakon PS15 + UI + AS-I da Sense	9
Figura 12 – Representação do sensor indutivo BERO 3RG4613-3WS00 da Siemens	10
Figura 13 – Representação do sensor indutivo PSL4-12GI50-E-V1 da Sense	10
Figura 14 – Representação do módulo conector AS-i de duas entradas e duas saídas digitais	10
Figura 15 – Representação do módulo conector AS-i de quatro saídas digitais	11
Figura 16 – Fotografia do sistema montado no laboratório	11
Figura 17 – Lista de símbolos utilizados no <i>software</i> Step-7	12
Figura 18 – Lógica em <i>Ladder</i> para implementação do acionamento da esteira	13
Figura 19 – Lógica em <i>Ladder</i> para implementação dos sensores Pentakon e fotoelétrico	13
Figura 20 – Lógica em <i>Ladder</i> para implementação do sensor indutivo da Sense com alcance de 4 mm	14
Figura 21 – Lógica em <i>Ladder</i> para implementação do sensor BERO	14
Figura 22 – Lógica em <i>Ladder</i> para implementação das quatro saídas digitais do módulo conversor AS-i	15
Figura 23 – Lógica em <i>Ladder</i> para implementação das duas saídas digitais do módulo conversor AS-i	15
Figura 24 – À esquerda, o painel frontal e à direita, o diagrama de blocos	16
Figura 25 – Interface do experimento remoto implementada no LabVIEW.	17
Figura 26 – Configuração do servidor <i>web</i>	18
Figura 27 – Adição das VIs visíveis na <i>web</i>	19
Figura 28 – Permissão de acesso à interface remota.	19
Figura 29 – Ferramenta <i>Web Publishing Tool</i>	20
Figura 30 – Criação da página <i>web</i>	20

Figura 31 – Aba “ <i>Experiments</i> ” do <i>site</i> do laboratório.	21
Figura 32 – Acesso remoto ao experimento sendo realizado	22

Lista de tabelas

Tabela 1 – Lógica de detecção de distância do sensor BERO	10
---	----

Lista de abreviaturas e siglas

SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
IHM	Interface Homem-máquina
CLP	Controlador Lógico Programável
AS-i	Actuator-sensor Interface
OPC	Object Linking and Embedding for Process Control
MPI	Multi Point Interface
CPU	Unidade Central de Processamento
DP	Decentralized Periphery
PA	Process Automation
FMS	Field Message Specification
FDL	Field Data Link
COM	Component Object Model
VI	Virtual Instrument

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
2	SISTEMAS SUPERVISÓRIOS	2
2.1	Sistemas Supervisórios	2
2.2	CLP S7-300	3
2.3	Rede AS-i	4
2.4	Rede Profibus-DP	7
2.5	Sensores e Módulos AS-i	8
2.6	Servidor OPC	11
3	PROGRAMAÇÃO DO CLP S7-300	12
3.1	Programação do CLP S7-300	12
4	IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA SUPERVISÓRIO NO LABVIEW	16
4.1	Implementação da Interface Homem-máquina no LabVIEW	16
4.2	Implementação do Acesso Remoto	18
5	EXECUÇÃO DO EXPERIMENTO	22
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
	REFERÊNCIAS	25

1 Introdução

Nos cursos de Engenharia, a realização de experimentos em laboratórios é uma importante ferramenta para a aprendizagem do estudante, pois nele tem-se a oportunidade de aplicar de forma prática os conceitos teóricos apresentados em sala de aula, como também, de compreendê-los mais a fundo. Entretanto, não são todos os centros de ensino que possuem a infraestrutura necessária para a realização de atividades práticas que cobrem a maioria do conteúdo apresentado pelo professor aos seus alunos, que poderiam auxiliar no seu entendimento sobre o assunto. Sendo assim, quando a falta de infraestrutura é um fator limitante no aprendizado prático dos alunos, uma solução amplamente utilizada é a realização de experimentos virtuais em plataformas computacionais. Nesse caso, o aluno não tem conhecimento se fisicamente, os resultados seriam os mesmo. Logo, há uma alternativa inovadora que combina os experimentos físicos com os virtuais, que é o laboratório remoto (NEDIC; MACHOTKA; NAFALSKI, 2003).

Um laboratório remoto consiste em uma interface *web* que permite ao usuário o acesso à representação virtual de um experimento que se encontra montado fisicamente e por meio dela, é possível controlá-lo, recebendo os dados obtidos nos testes. Para isso é necessário que todo o aparato físico montado seja conectado a um computador e a um controlador, para receber os dados adquiridos e aplicar os comandos enviados pelo usuário que estará acessando o laboratório de forma remota. Sendo assim, é possível que um estudante possa ter acesso a um experimento do outro lado do mundo, bastando apenas que os equipamentos físicos estejam ligados e conectados e que se tenha o acesso à *internet* (NEDIC; MACHOTKA; NAFALSKI, 2003).

Para que um laboratório remoto seja desenvolvido é necessário que se utilize um *software* de programação que possua o conceito de instrumentação virtual – a representação virtual dos instrumentos de medição utilizados – como também, a possibilidade de criação de interfaces gráficas para que se possa acompanhar e executar o experimento. Um *software* largamente utilizado na implementação de uma interface homem-máquina (IHM) é o LabVIEW®, desenvolvido pela National Instruments.

Com este trabalho, implementou-se um laboratório remoto utilizando o LabVIEW® para que pudesse ser utilizado em disciplinas dos cursos de Engenharia Elétrica e áreas afins, que abordem as áreas de Instrumentação Eletrônica e de Sistemas de Automação Industrial. No experimento elaborado, o estudante entra em contato com diversos conceitos abordados nessas duas áreas como o funcionamento de sensores e atuadores, a programação de um Controlador Lógico Programável (CLP) e a utilização de redes industriais de sensores para realizar a comunicação entre os componentes do sistema.

2 Sistemas Supervisórios

2.1 Sistemas Supervisórios

Em um ambiente industrial, há a necessidade de monitoramento contínuo dos seus processos para que uma falha seja detectada e reparada o mais rápido possível, visando um menor prejuízo na produção. Com isso, foram desenvolvidos os sistemas supervisórios (SCADA System – *Supervisory Control and Data Acquisition System*), responsáveis por receber as informações dos diversos dispositivos da planta, por informá-las para o operador, indicando uma possível falha, e por realizar o controle do sistema. Eles possibilitam uma maior segurança para os seus operadores, já que estes não necessitam se expor a situações de risco para monitorá-los, e também, uma redução nos custos de produção, já que alertam sobre a ocorrência de falhas, assim que elas surgem (ACKERMAN; BLOCK, 1992).

Um sistema supervisório é composto pelos seguintes dispositivos: o de controle, por exemplo, um controlador lógico programável (CLP); os de aquisição de dados, sensores; os atuadores e as interfaces com o usuário, que podem ser físicas, como um painel de LEDs, ou então, virtuais, utilizando *softwares* que permitem a criação de interfaces gráficas, como o *LabVIEW* (ACKERMAN; BLOCK, 1992), (GARDUNO-RAMIREZ; IBARGUENGOYTIA, 2006). Eles são interligados por barramentos chamados de redes industriais, como as redes AS-i (*Actuator Sensor Interface*) e Profibus-DP, que serão abordadas nas seções 2.3 e 2.4, respectivamente. Na figura 1, tem-se o esquema físico do sistema supervisório produzido nesse trabalho, que é o experimento a ser realizado no laboratório remoto.

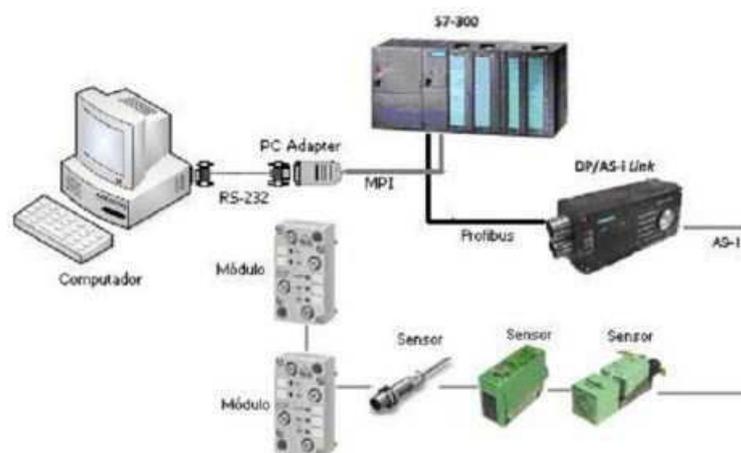


Figura 1 – Esquema do sistema supervisório desenvolvido no projeto

Nas seções 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 e 2.6, apresenta-se os componentes utilizados no expe-

rimento desenvolvido, como também os protocolos de comunicação utilizados.

2.2 CLP S7-300

O CLP é um dispositivo eletrônico que possui uma memória interna programável capaz de armazenar sequências de instruções lógicas, que controlam a entrada e a saída de dados para instrumentos conectados a ele, sendo os sensores e atuadores, respectivamente. Sendo assim, em sua unidade central de processamento (CPU), há a execução contínua de um *firmware*, *software* desenvolvido pelo seu desenvolvedor que monitora constantemente as entradas de dados e com o auxílio de um programa implementado por um usuário, em *software* compatível com o do fabricante do CLP, verifica-se a lógica desenvolvida para realizar o controle das saídas, podendo contar com implementações de portas lógicas simples, como também de estruturas temporizadoras (ROSARIO, 2014).

Neste trabalho, o CLP utilizado foi o SIMATIC S7-300 da *Siemens*. Ele é instalado em uma estrutura de suporte, o *rack*, que oferece interligamento eletromecânico entre os seus demais componentes, que são os módulos. O primeiro a ser conectado no *rack* foi uma fonte de alimentação, PS 307 10A, que fornece tensão para a CPU e para os módulos de entrada e saída. Em seguida, a CPU 315-2 DP que realiza o processamento e o armazenamento de todas as informações no controle de um processo, devido à presença de um processador e de memórias ROM e RAM na sua estrutura interna. Foram utilizados também, um módulo de 16 entradas digitais, o 6ES7 321-7BH00-0AB0, com alimentação de 24V; um módulo de 16 saídas digitais, o 6ES7 322-1HH00-0AA00, e o que se encontra apenas instalado, sem uso definido, um módulo de 8 entradas analógicas com 12 bits, o 6ES7 331-7KF01-0AB0 (ROSARIO, 2014), (SIEMENS, 1998). Dessa forma, o CLP em estudo pode ser visualizado na figura 2.



Figura 2 – Fotografia do CLP SIMATIC S7-300

A lógica de controle desse CLP é desenvolvida no *software* Step-7 da própria Siemens, na linguagem *Ladder*. As instruções lógicas implementadas nesse *software* são

transmitidas para esse dispositivo por um cabo de comunicação serial RS-232 que é conectado a um aparelho denominado de *PC-Adapter*, como o Siemens 6ES7972-0CA23-0XA0 que foi utilizado no desenvolvimento do projeto e que pode ser visualizado na figura 3, cuja funcionalidade é a de converter os dados enviados pelo computador para serem transmitidos pela porta de comunicação MPI (*Multi Point Interface* – Interface de Múltiplos Pontos) do S7-300, configurando a ação da sua CPU no controle do processo (LIEPING; AIQUN; YUNSHENG, 2007).



Figura 3 – Fotografia do *PC-Adapter*

O CLP S7-300 é utilizado como estação mestre nos processos de automação industrial e é largamente utilizado nos de médio porte, como em plantas de controle do nível de petróleo em tanques (CHEN; CHENGSHAN; CHENG, 2009), de pequenas hidrelétricas (BUTUZA et al., 2014), de sistemas de fermentação (WU et al., 2010), de esteiras industriais (LU; WANG; ZHUANG, 2012), de braços robóticos em linhas de produção (THOMAS; ALENA, 2013).

2.3 Rede AS-i

O padrão AS-i (*Actuator-Sensor interface*) estabelece a comunicação de sensores e atuadores binários, escravos AS-i, a um dispositivo de controle, mestre AS-i, independente do fabricante de cada um deles (SVEDA et al., 1994), (SVEDA; VRBA; ZEZULKA, 2000). As redes industriais AS-i, os barramentos que associados a esse padrão, são consideradas de baixo-nível ou de chão de fábrica pelo fato de receberem informações de baixa complexidade. Entretanto, elas podem se conectar a redes de alto-nível, Profibus-DP, a partir de módulos conversores ou *gateways*, como o *DP/AS-i Link* (REYNDERS; MACKAY; WRIGHT, 2004), (SVEDA; VRBA, 1999), que pode ser visualizado na figura 4.

Figura 4 – Representação do *DP/AS-i Link*

As redes AS-i são compostas por um segmento de cabo de comprimento máximo de 100 metros e que possui dois fios, nas cores azul e marrom, que conectam e fornecem alimentação para os sensores e atuadores. Um corte seccional deste cabo pode ser visualizado na figura 5.

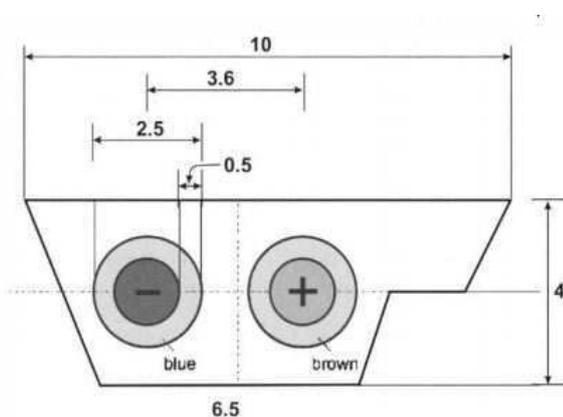


Figura 5 – Representação do corte seccional do cabo de uma rede AS-i

Em um segmento da rede AS-i, é possível conectar 31 módulos escravos ou nós AS-i, podendo ser sensores ou atuadores com o *chip* AS-i já integrado ou então, módulos eletromecânicos que possuem, usualmente, 4 conectores para sensores ou atuadores, sendo possível conectar no máximo 124 dispositivos de entrada ou saída. Com módulos especiais, pode-se interligar à rede AS-i 124 sensores e 124 atuadores (REYNDERS; MACKAY; WRIGHT, 2004). E também, é possível estender o comprimento do cabo para no máximo 300 metros, pois pode-se utilizar duas estações repetidoras, com cada uma adicionando 100 metros ao segmento original. Com esse acréscimo, triplica-se o número de entradas/saídas (SIEMENS, 2006).

Para realizar a conexão de um sensor com *chip* AS-i na rede, basta que o conecte diretamente no cabo a partir de um furo. Já o módulo possui uma estrutura desmontável, com uma camada superior e outra inferior, em que o cabo se conecta com sua estrutura interna, sem a necessidade de ser perfurado como verifica-se na figura 6. Ainda, pode-se combinar essas camadas de modo a obter módulos com duas entradas e duas saídas ou

quatro saídas digitais (REYNDERS; MACKAY; WRIGHT, 2004).

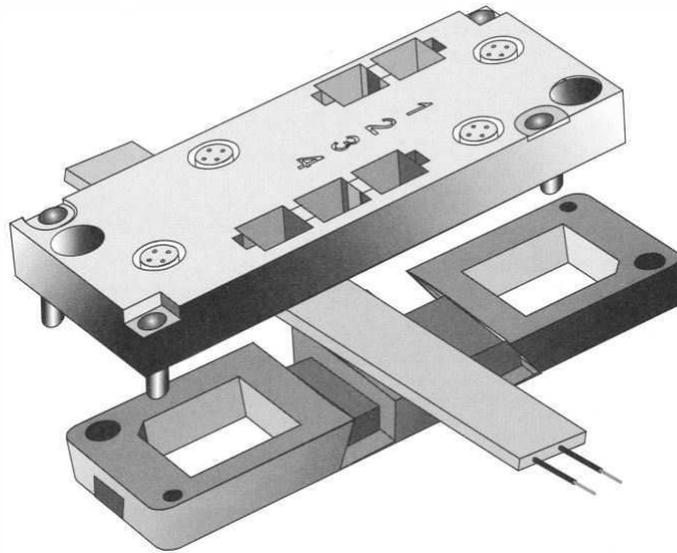


Figura 6 – Representação do módulo AS-i

Para que o mestre AS-i receba as informações dos sensores ou as envie para os atuadores é necessário que ele tenha acesso aos endereços de memória desses nós. Esse endereçamento é realizado pelo equipamento visualizado na figura 7 em uma memória não- volátil, ou seja, os dados são armazenados mesmo sem a presença de uma fonte de tensão, cuja informação é assimilada pelo mestre, no caso desse trabalho, o CLP S7-300. Para uma rede AS-i sem estações repetidoras, a troca de informação entre o dispositivo de controle e 31 módulos escravos ocorre a uma taxa de 167 Kbps, fazendo com que o fluxo de dados percorra todo o sistema em 5 ms (REYNDERS; MACKAY; WRIGHT, 2004), (SIEMENS, 2006).



Figura 7 – Representação do endereçador AS-i

2.4 Rede Profibus-DP

O padrão Profibus é largamente utilizado em processos de automação ao redor do mundo, principalmente, pelo fato de que uma rede industrial com esse padrão se conecta com qualquer dispositivo de campo, independente do seu fabricante. Há três tipos de redes que o utilizam : Profibus-DP (*Decentralized Periphery – Periféricos Descentralizados*), que é o utilizado neste trabalho, Profibus-PA (*Process Automation – Processos de Automação*) e Profibus-FMS (*Field Message Specification – Especificação de Mensagem de Campo*) (XU; FANG, 2004).

A Profibus-DP é utilizada para a comunicação de dados de alta velocidade – taxa de transmissão entre 9,6 Kbps e 12 Mbps (LIN-LIN et al., 2012) – entre o dispositivos de controle e o de entrada/saída e adota o padrão ISO/OSI, incluindo apenas as camadas 1 e 2 e a interface com o usuário. A camada 1 é a física que é constituída de cabos de fibra ótica; a 2 é a responsável por transmitir as informações de uma estação para a outra e por controlar a segurança na transmissão de dados, sendo chamada de FDL (*Field Data Link – Ligação de Dados de Campo*) e a interface com o usuário define as funções e informa as características dos dispositivos conectados na rede. Pode-se visualizar na figura 8 um esquema representativo da estrutura definida. E também, esse tipo de rede pode se conectar a outros tipos de barramento, como *Industrial Ethernet* e redes AS-i através de um *gateway*, realizando assim a transmissão de dados de uma para a outra (XU; FANG, 2004).

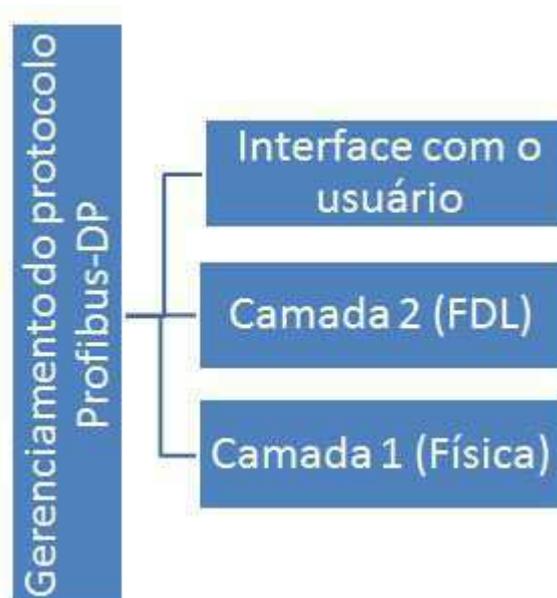


Figura 8 – Esquema representativo do protocolo Profibus-DP

Segundo o padrão Profibus-DP, há três tipos de estações de dados: o mestre DP (classe 1), o mestre DP (classe 2) e o escravo DP. O mestre DP (classe 1) é o responsável

por realizar o controle do sistema, recebendo os dados dos dispositivos de entrada e enviando as ordens de controle para os de saída, sendo a estação ou nó ativo, por exemplo, o CLP S7-300. O mestre DP (classe 2) é um equipamento programável que permite a visualização do usuário de diagnósticos do processo industrial, como o computador. E os escravos DP são os sensores e atuadores, sendo estações ou nós passivos (XU; FANG, 2004), (HE; GUO, 2008), (YU et al., 2012).

Em um sistema industrial com várias estações mestres interligadas por uma rede Profibus-DP às estações escravas, tem-se que as mestres não atuam de forma simultânea. Em cada instante de tempo, apenas uma delas é acionada, que é a que contém o passe (*token*) para realizar a ação para a qual foi programada. Sendo assim, esse passe é transferido ciclicamente de nó ativo para nó ativo, para que cada um possa realizar a sua função, caso seja de classe 1 (C1M), receber os dados dos dispositivos de entrada e o envio de ordens de controle para os de saída e se for de classe 2 (C2M), realizar o acompanhamento do fluxo de dados que passa pelo sistema (FANG; LIU; XI, 2007). Na figura 9, pode-se visualizar o princípio de funcionamento desse processo.

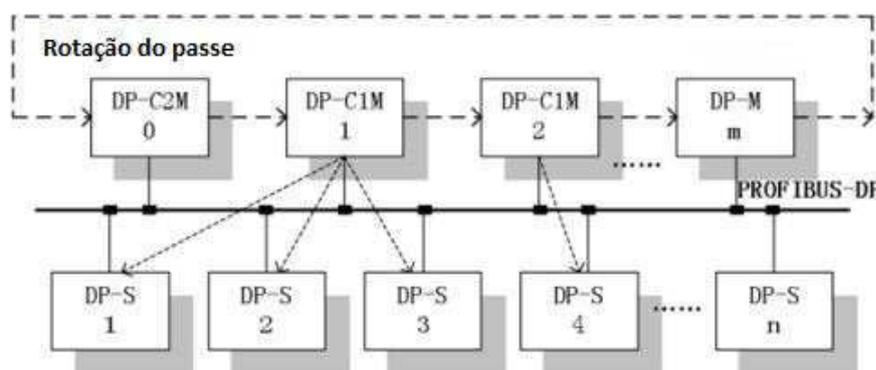


Figura 9 – Representação do funcionamento do acesso das estações mestres à rede Profibus-DP

2.5 Sensores e Módulos AS-i

Os sensores utilizados no desenvolvimento do projeto foram os de proximidade, sendo eles separados em dois tipos: os indutivos, que detectam a presença de um objeto metálico à determinada distância por causa da variação do campo magnético gerado por suas bobinas (JAGIELLA; FERICEAN; DROXLER, 2007), e o fotoelétrico, que possui fotodiodos emissores e receptores em sua estrutura interna, detectando assim, qualquer tipo de objeto, pois a luz emitida pelos emissores é refletida no objeto e recebida pelos receptores (XU et al., 2010).

O sensor fotoelétrico utilizado foi o VF AS-I da Sense, presente na figura 10, que

possui luz infravermelha, alcance entre 0,1 e 1 m, tempo de resposta de 10 ms e *chip* AS-i integrado, sendo sua tensão de alimentação fornecida pela rede AS-i.



Figura 10 – Representação do sensor fotoelétrico VF AS-I da Sense

Utilizou-se três sensores indutivos: o Pentakon PS15 + UI + AS-I da Sense, o BERO 3RG4613-3WS00 da Siemens e o PSL4-12GI50-E-V1 da Sense. O primeiro deles possui alcance de 15 mm e *chip* AS-i integrado, sendo visualizado na figura 11.



Figura 11 – Representação do sensor indutivo Pentakon PS15 + UI + AS-I da Sense

O sensor indutivo BERO possui alcance de 5 mm, mas devido a uma lógica interna, presente na tabela 1, é capaz de detectar as faixas de distância entre 4 e 5 mm, 3 e 4 mm, 0,8 e 3 mm, e 0 e 0,8 mm, e também, possui o *chip* AS-i integrado. Na figura 12, é possível observar esse sensor.

Tabela 1 – Lógica de detecção de distância do sensor BERO

	5mm	4mm	3mm	0,8mm	Em contato
I2.5	0	0	1	1	1
I2.6	1	0	0	1	0
I2.7	1	1	1	1	0
Q5.7	0	0	0	0	0
LED's	-	Vermelho	Vermelho e Laranja	Laranja	Vermelho e Laranja



Figura 12 – Representação do sensor indutivo BERO 3RG4613-3WS00 da Siemens

O outro sensor indutivo, visualizado na figura 13 citado possui alcance de 4 mm e saída nível baixo ativa, mas não possui *chip* AS-i integrado. Sendo assim, conectou-se este em um módulo conector AS-i da série M12 2E/2AR 3RG9001-0AC00 de duas entradas e duas saídas digitais, visualizado na figura 14. E também, utilizou-se o módulo conector AS-i da série 4AR 3RG9001-0AB00 de quatro saídas digitais, visto na figura 15.



Figura 13 – Representação do sensor indutivo PSL4-12GI50-E-V1 da Sense



Figura 14 – Representação do módulo conector AS-i de duas entradas e duas saídas digitais



Figura 15 – Representação do módulo conector AS-i de quatro saídas digitais

Com os componentes apresentados nas seções 2.2, 2.3, 2.4 e 2.5, montou-se o experimento que pode ser visualizado na figura 16.



Figura 16 – Fotografia do sistema montado no laboratório

2.6 Servidor OPC

A tecnologia OPC (*Object Linking and Embedding for Process Control*) é um padrão de aquisição e transmissão de dados em tempo real entre *softwares* e *hardwares*, gerando um servidor com as informações adquiridas, um programa, e clientes – outros *softwares* que as utilizam, como as Interfaces Homem Máquina (IHM). Uma grande vantagem do uso da tecnologia OPC é a fácil integração entre dispositivos de diferentes fabricantes, pois, no caso desse trabalho, os dados recebidos do CLP S7-300 são convertidos para o protocolo OPC, por meio do padrão COM (*Component Object Model*) que possibilita a criação de objetos no servidor que armazenam os dados recebidos e os que serão enviados para o cliente (LIEPING; AIQUN; YUNSHENG, 2007).

3 Programação do CLP S7-300

3.1 Programação do CLP S7-300

A programação do CLP S7-300 foi desenvolvida no *software* Step- 7 da Siemens, em que se configura todos os módulos que são utilizados neste aparelho de controle e como já foi mencionado na seção 2.2, o programa implementado é transferido para o CLP por um cabo de comunicação serial RS-232. A implementação do sistema foi realizada na linguagem *Ladder*, em que se subdivide as várias atividades do CLP em diferentes linhas de programação, as *networks*, que são compostas de duas barras energizadas, nas quais se conectam os dispositivos de entrada, representados por chaves normalmente aberta (NA), desativadas em nível baixo, e normalmente fechada (NF), ativas em nível baixo, e de saída, que armazenam o estado da saída em relés.

As variáveis utilizadas são denominadas de símbolos e a lista das que foram utilizadas se encontra na figura 17. As que são variáveis de entrada e foram endereçadas previamente pelo dispositivo apresentado na figura 7, possuem o prefixo I seguido do endereço onde foram armazenadas, I0.0, e as de saída possuem prefixo Q seguido do endereço de armazenamento, Q0.0. Já as variáveis que são armazenadas em um local de memória para que o Servidor OPC tenha acesso a elas são chamadas do tipo *marker*, com o prefixo M seguido do endereço de armazenamento, M0.0.



	Status	Symbol	Address	Data type	Comment
1		Sistema Supervisório	OB 1	OB 1	
2		Botão 1	M 2.0	BOOL	Aciona as saídas OUT1 e OUT2 do módulo com quatro saídas digitais
3		Botão 2	M 2.2	BOOL	Aciona as saídas OUT3 e OUT4 do módulo com duas entradas e duas saídas digitais
4		Botão 3	M 2.1	BOOL	Aciona as saídas OUT3 e OUT4 do módulo com quatro saídas digitais
5		Acionar esteira	M 1.0	BOOL	Botão que aciona a esteira
6		0.8mm	M 5.6	BOOL	Essa saída será ativada quando a peça metálica estiver a 0.8 mm do sensor BERO
7		3mm	M 5.5	BOOL	Essa saída será ativada quando a peça metálica estiver a 3 mm do sensor BERO
8		4mm	M 5.4	BOOL	Essa saída será ativada quando a peça metálica estiver a 4 mm do sensor BERO
9		5mm	M 5.3	BOOL	Essa saída será ativada quando a peça metálica estiver a 5 mm do sensor BERO
10		0mm	M 5.7	BOOL	Essa saída será ativada quando houver contato da peça metálica com o sensor BERO
11		OUT2	Q 6.4	BOOL	Essa saída será ativada quando o botão 1 for pressionado
12		OUT1	Q 6.3	BOOL	Essa saída será ativada quando o botão 1 for pressionado
13		OUT4	Q 6.6	BOOL	Essa saída será ativada quando o botão 2 for pressionado
14		OUT3	Q 6.5	BOOL	Essa saída será ativada quando o botão 2 for pressionado
15		OUT3-2	Q 6.1	BOOL	Essa saída será ativada quando o botão 3 for pressionado
16		OUT4-2	Q 6.2	BOOL	Essa saída será ativada quando o botão 3 for pressionado
17		Esteira	Q 4.7	BOOL	Saída que representa a esteira
18		Sensor Fotoelétrico	I 3.0	BOOL	Sensor fotoelétrico para verificar a presença de demais peças sem ser metálicas
19		Sensor Pentakon	I 2.0	BOOL	Sensor indutivo para detectar um objeto metálico à distância - 15 mm
20		Sensor Ind. Sense	I 2.3	BOOL	Sensor indutivo para detectar um objeto metálico à distância - 4mm
21					

Figura 17 – Lista de símbolos utilizados no *software* Step-7

Como é possível verificar na figura 17, o tipo de todas as variáveis é "BOOL" que indica que são booleanas, ou seja, assume os valores binários 0 ou 1. Sendo assim, a lógica implementada para acionar a esteira se encontra na figura 18, em que se utiliza uma chave NA e um relé de saída que armazena o seu estado.

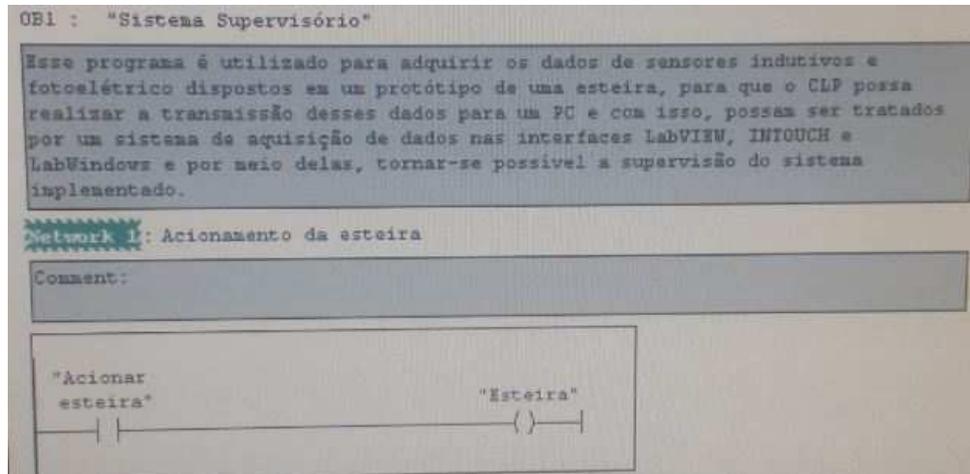


Figura 18 – Lógica em *Ladder* para implementação do acionamento da esteira

A implementação tanto para o sensor de proximidade Pentakon quanto para o fotoelétrico são bem semelhantes à do acionamento da esteira, diferindo apenas no tipo de dado utilizado, *marker* para acionar a esteira e de entrada para os dois sensores, e o salvo, sendo uma saída no acionamento da esteira e *marker* para os sensores, podendo ser visualizadas na figura 19.

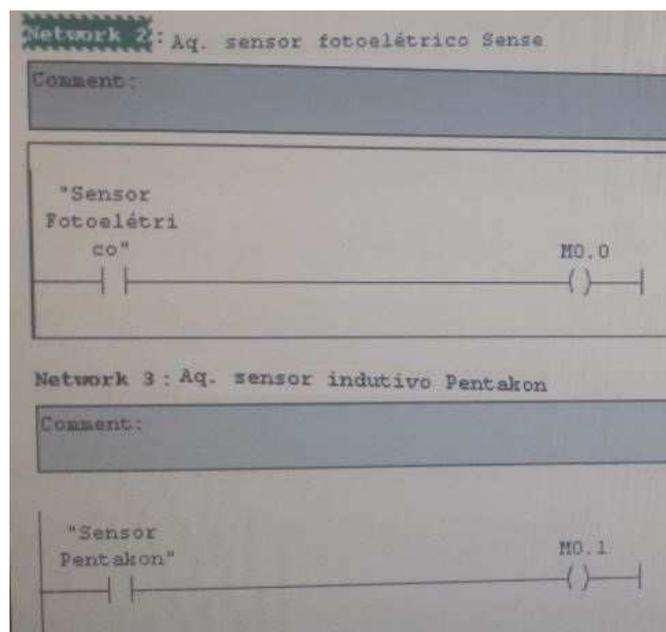


Figura 19 – Lógica em *Ladder* para implementação dos sensores Pentakon e fotoelétrico

O sensor indutivo da Sense com alcance de 4 mm possui sua saída nível baixo ativo, sendo assim, foi implementado com uma chave NF como se pode verificar na figura 20.

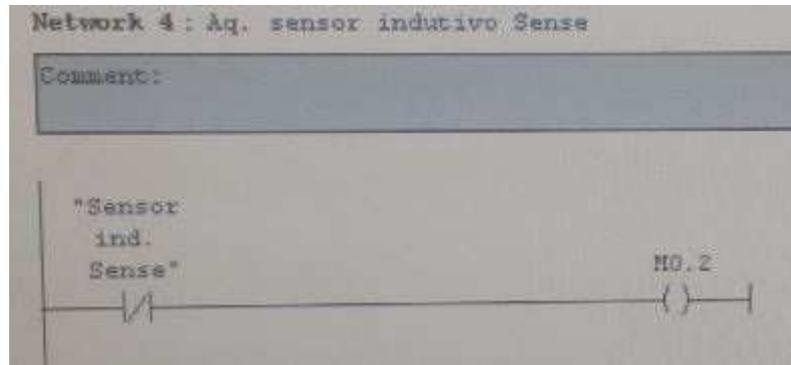


Figura 20 – Lógica em *Ladder* para implementação do sensor indutivo da Sense com alcance de 4 mm

Nos *networks* 5 e 6, implementou-se a lógica do sensor BERO, explicitada na tabela 1, assim como se pode visualizar na figura 21.

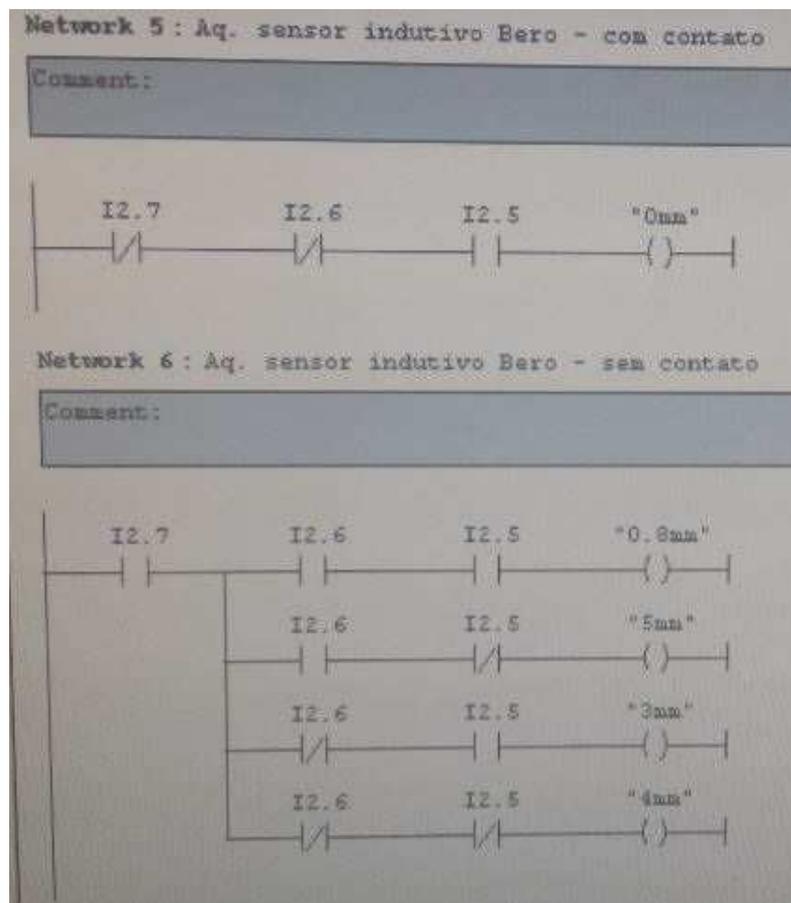


Figura 21 – Lógica em *Ladder* para implementação do sensor BERO

A lógica de ativação das quatro saídas digitais do módulo conversor AS-i se encontra na figura 22.

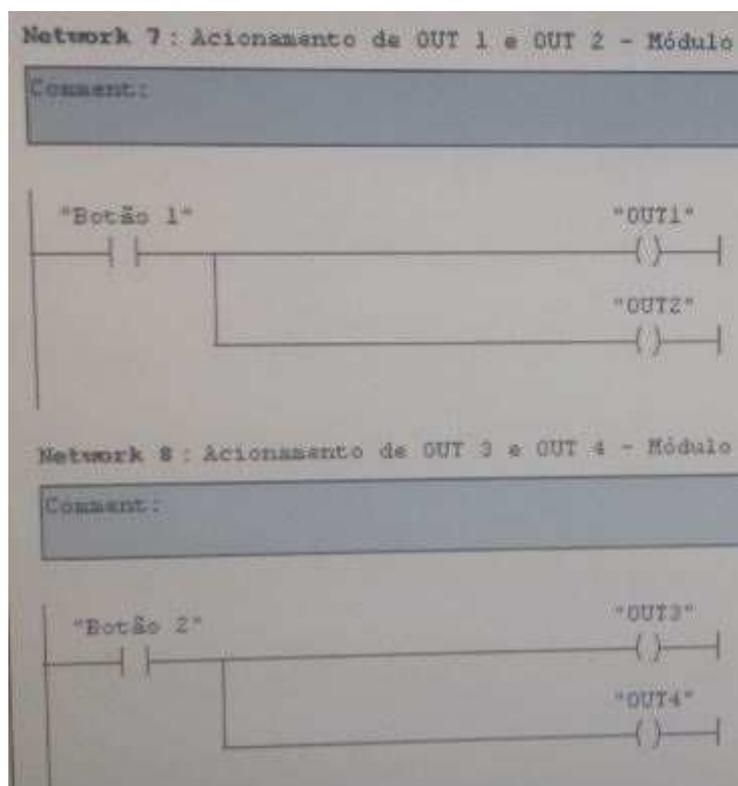


Figura 22 – Lógica em *Ladder* para implementação das quatro saídas digitais do módulo conversor AS-i

E por fim, o acionamento das duas saídas digitais do outro módulo AS- i foi implementado conforme explicitado na figura 23.

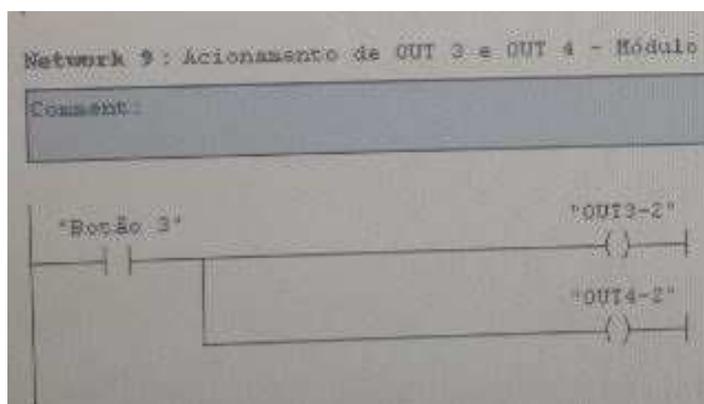


Figura 23 – Lógica em *Ladder* para implementação das duas saídas digitais do módulo conversor AS-i

4 Implementação do sistema supervisorio no LabVIEW

4.1 Implementação da Interface Homem-máquina no LabVIEW

O LabVIEW é um *software* de programação gráfica da National Instruments que tem como linguagem de programação a G, baseada em diagrama de blocos. Um projeto elaborado no LabVIEW contém programas chamados de VIs (*Virtual Instruments* – Instrumentos Virtuais), que são compostos por um painel frontal, em que se tem a interface gráfica com o usuário, e por um diagrama de blocos, que é o ambiente de programação em si, assim como se pode visualizar na figura 24. O próprio nome VI já sugere que esse *software* é bastante voltado para aplicações de instrumentação eletrônica.

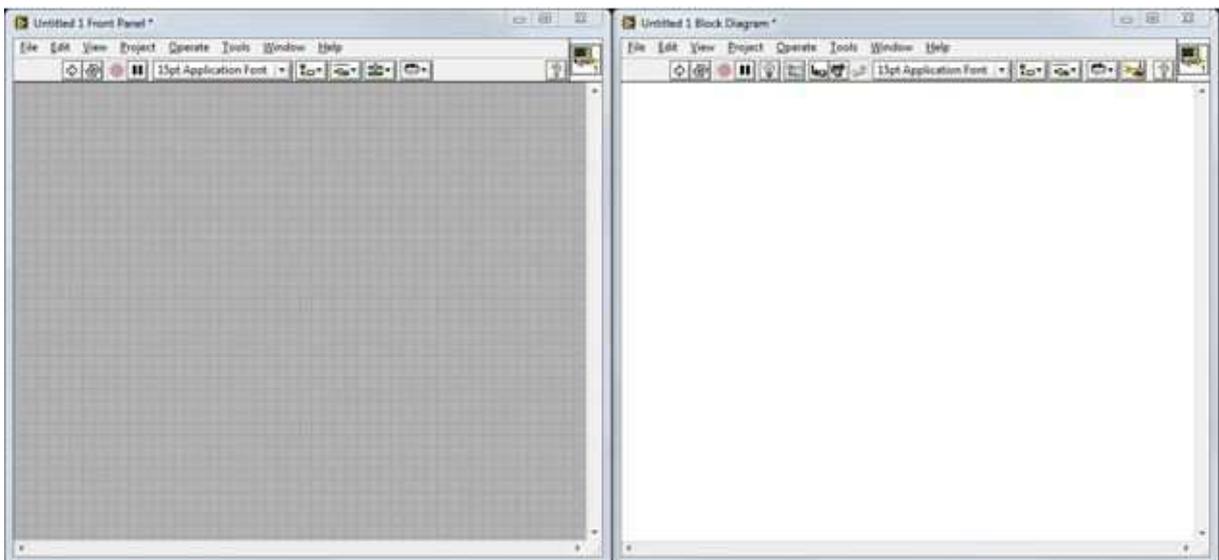


Figura 24 – À esquerda, o painel frontal e à direita, o diagrama de blocos

É possível realizar a conexão com um servidor OPC, conectando-se assim com os endereços de memória do CLP S7-300, por meio da criação de um servidor de entrada/saída (*I/O server*) que possibilita a utilização das etiquetas dos dispositivos no LabVIEW, possuindo seu valor atualizado a cada 100 ms. O servidor OPC foi implementado com o *software* OPCLink cujos dados em compartilhamento com o CLP S7-300, do tipo *marker*, podem ser identificados e gerenciados em outro *software*, o KEPServerEX da Kepware. Instanciou-se o canal de comunicação “S7” com taxa de transmissão de 19,2 Kbps, oito bits de dados, um bit de parada, sem controle de fluxo e paridade par. Dentro desse canal, implementou-se o objeto “CLP_S7_300”, no qual se pôde relacionar os locais de memória endereçados para cada dispositivo na programação do CLP com etiquetas,

tags, que identificam cada uma das variáveis armazenadas e viabilizam a sua utilização na IHM.

No painel frontal, coloca-se as variáveis de controle e de indicação, que podem ser inteiras, booleanas, *strings* (um vetor de caracteres), matrizes e *clusters* (agrupamento de diferentes tipos de variáveis), que estão presentes na Paleta de Controle (*Control's Palette*). Insere-se também imagens, figuras geométricas e textos para incrementar a interface gráfica com o usuário, garantindo um fácil acesso e tornando-a mais próxima do sistema real, no caso desse trabalho, o experimento a ser realizado no laboratório remoto.

No diagrama de blocos, realiza-se a interligação das variáveis de entrada com as de saída, por meio de operações lógicas e aritméticas, utilizando os recursos da programação estruturada, como estruturas de comparação, de repetição, de temporização, presentes na Paleta de Funções (*Functions Palette*). É neste ambiente que se instancia as etiquetas como variáveis para que sejam realizadas operações com elas. Sendo assim, implementou-se as lógicas dos dispositivos utilizados da mesma forma que as apresentadas nas figuras 18 a 23, com as devidas adaptações para a linguagem G.

O experimento desenvolvido foi um protótipo de esteira industrial, sendo assim, no LabVIEW, implementou-se três contadores de peças que transitam nela: o de peças metálicas, utilizando o estado do sensor Pentakon, o de peças não-metálicas, utilizando os estados dos sensores Pentakon e fotoelétrico, e o de peças no total, somando os resultados dos outros dois. Também, utilizou-se funções de manipulação de arquivos para armazenar as informações de cada um deles em um arquivo *.txt*. Além disso, criou-se uma animação para o movimento das rodas da esteira e também, para o dos dois tipos de objeto, metálicos e não- metálicos. Pode-se verificar na figura 25 a interface desenvolvida no LabVIEW para o experimento remoto.

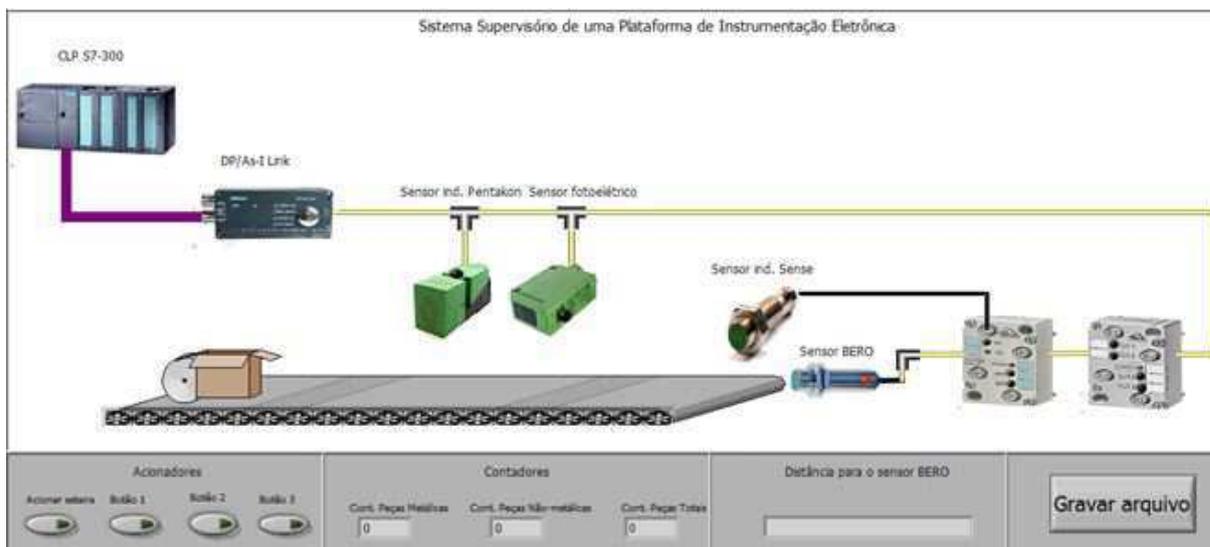


Figura 25 – Interface do experimento remoto implementada no LabVIEW.

4.2 Implementação do Acesso Remoto

O acesso remoto à IHM foi implementado com o auxílio da ferramenta *Web Publishing Tool* do LabVIEW e foi realizado seguindo alguns passos que serão explicitados a seguir. Primeiramente, habilitou-se a exibição do painel frontal na *web*, seguindo as opções **Tools >> Options >> Web Server** e ativando o servidor *web*, como se pode verificar na figura 26.

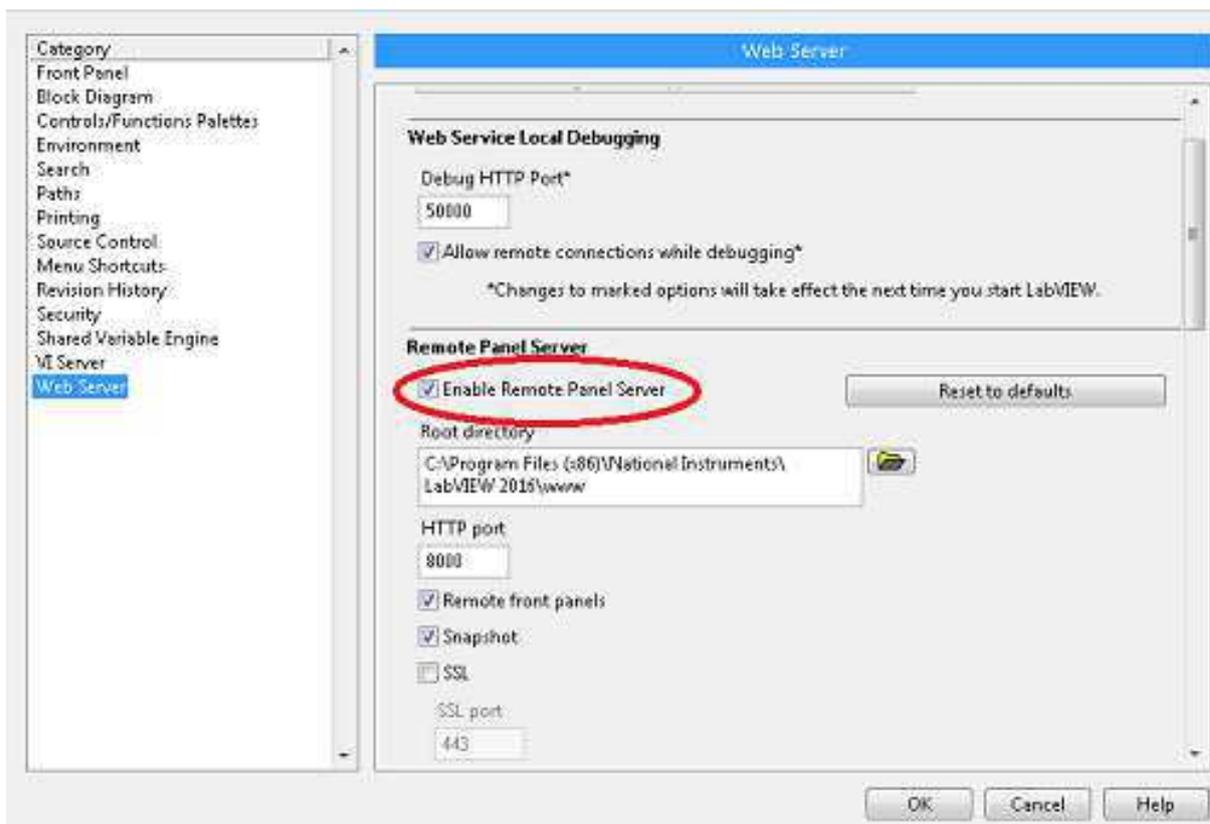


Figura 26 – Configuração do servidor *web*.

Fonte: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/5874283E968ADB33862573210071D43A>

Em seguida, nas mesmas opções do passo anterior, adiciona-se as VIs que serão visualizadas, como é apresentado na figura 27.

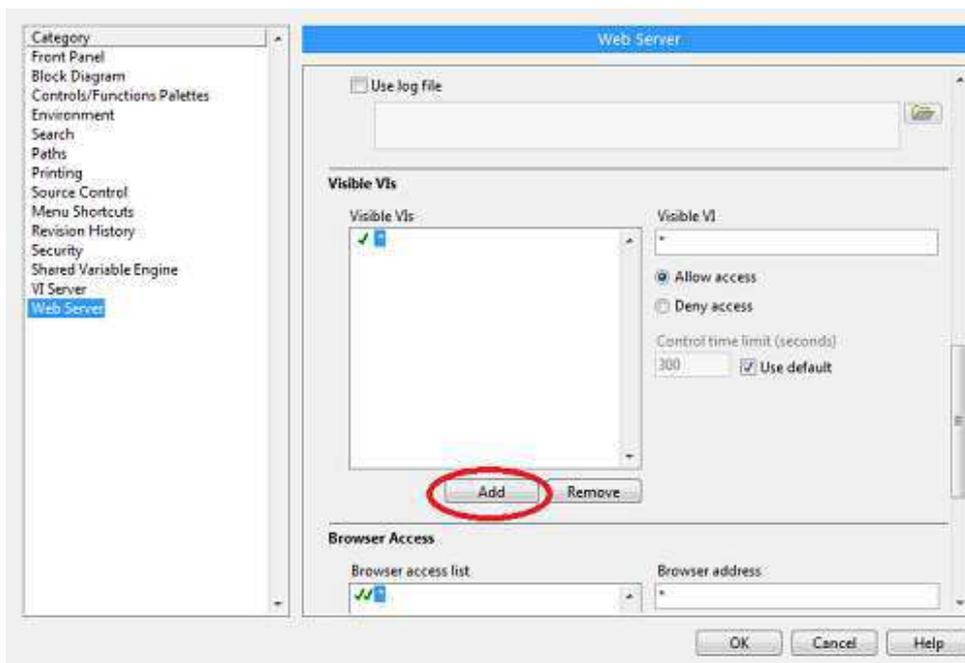


Figura 27 – Adição das VIs visíveis na web.

Fonte: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/5874283E968ADB33862573210071D43A>

Tem-se a opção de permitir ou de negar o acesso à interface de determinados computadores, assim como é explicitado na figura 27.

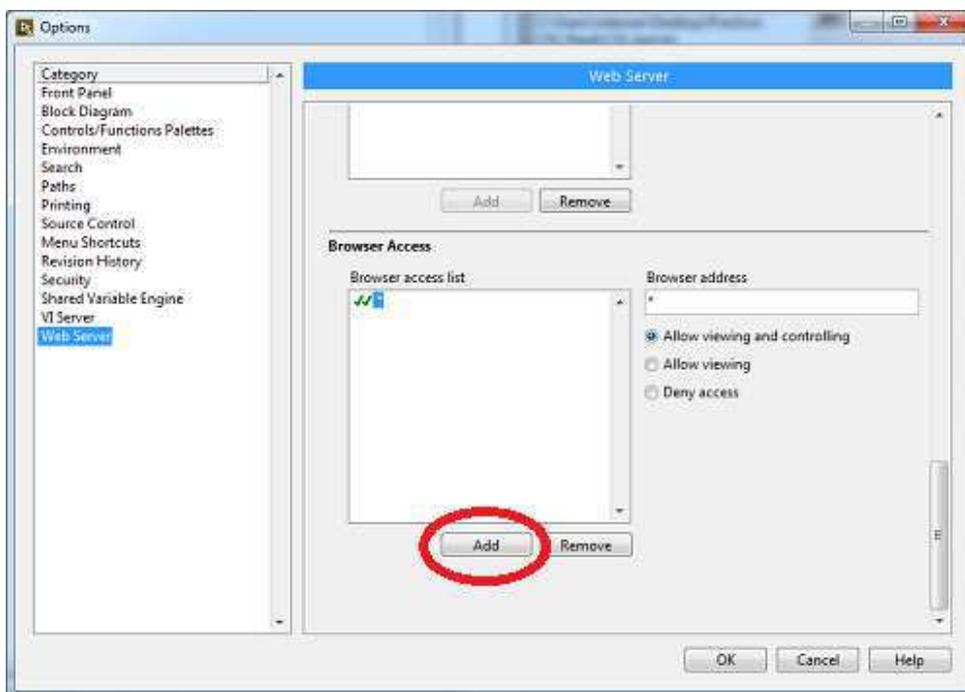


Figura 28 – Permissão de acesso à interface remota.

Fonte: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/5874283E968ADB33862573210071D43A>

Em seguida, na opção **Tools >> Web Publishing Tool**, seleciona-se o projeto em que se encontra a VI e também, o tipo de exibição, sendo possível o acesso apenas pelos navegadores Internet Explorer, Mozilla Firefox e Opera. Esse passo é apresentado na figura 29. E por último, determina-se o diretório para armazenar a página *web* e também, o nome dessa página, gerando a url, como indicado na figura 30.

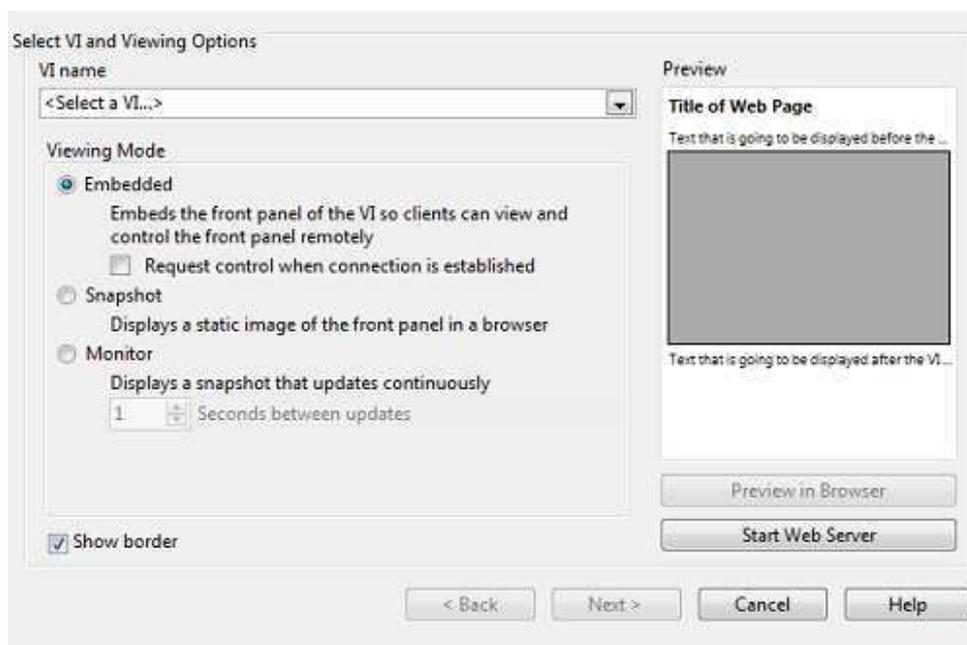


Figura 29 – Ferramenta *Web Publishing Tool*.

Fonte: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/5874283E968ADB33862573210071D43A>

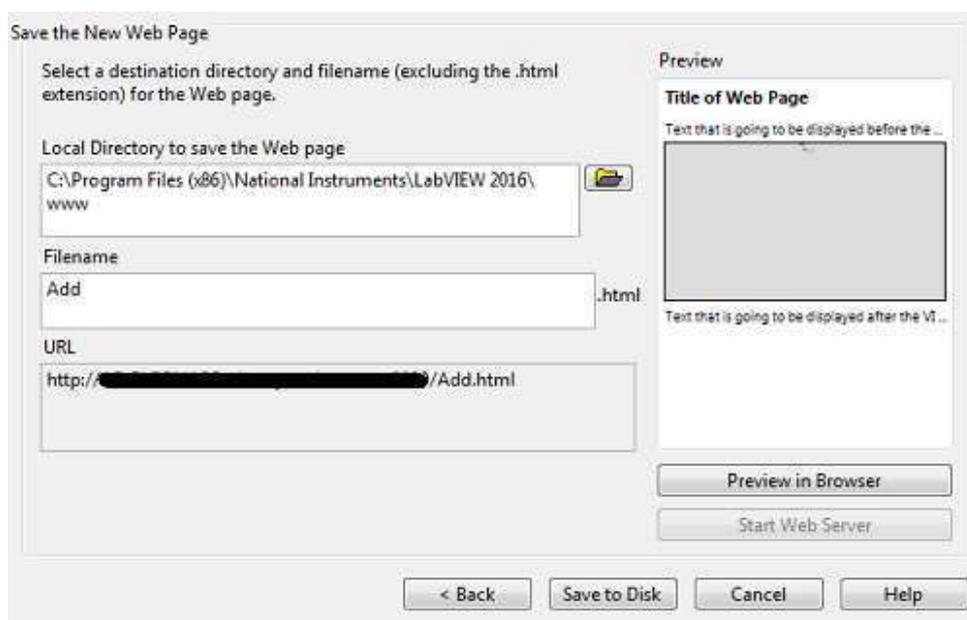


Figura 30 – Criação da página *web*.

Fonte: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/5874283E968ADB33862573210071D43A>

Sendo assim, na opção padrão, basta-se que se tenha a url da página para que se tenha acesso à interface *web* e também, que se tenha realizado o *download* do *plug-in LabVIEW Run-Time Engine*. Nesse trabalho, vinculou-se à interface remota ao *site* do laboratório de Ultrassom da Universidade Federal de Campina Grande, que é [https:// sites.google.com/site/nondestructivelab/](https://sites.google.com/site/nondestructivelab/) . Para se ter acesso ao laboratório remoto, necessita-se que se tenha o *e-mail* aprovado pelos administradores do *site*. Tendo o acesso aprovado, clica-se na aba “*Experiments*” e acessa-se a plataforma pelo *link* “*Supervisory System – Platform for Sensor Monitoring*”, cujos resultados obtidos no experimento, a contagem dos contadores, podem ser visualizados no *link* “*Measured Values – Sensor Monitoring*”, como se pode visualizar na figura 31.

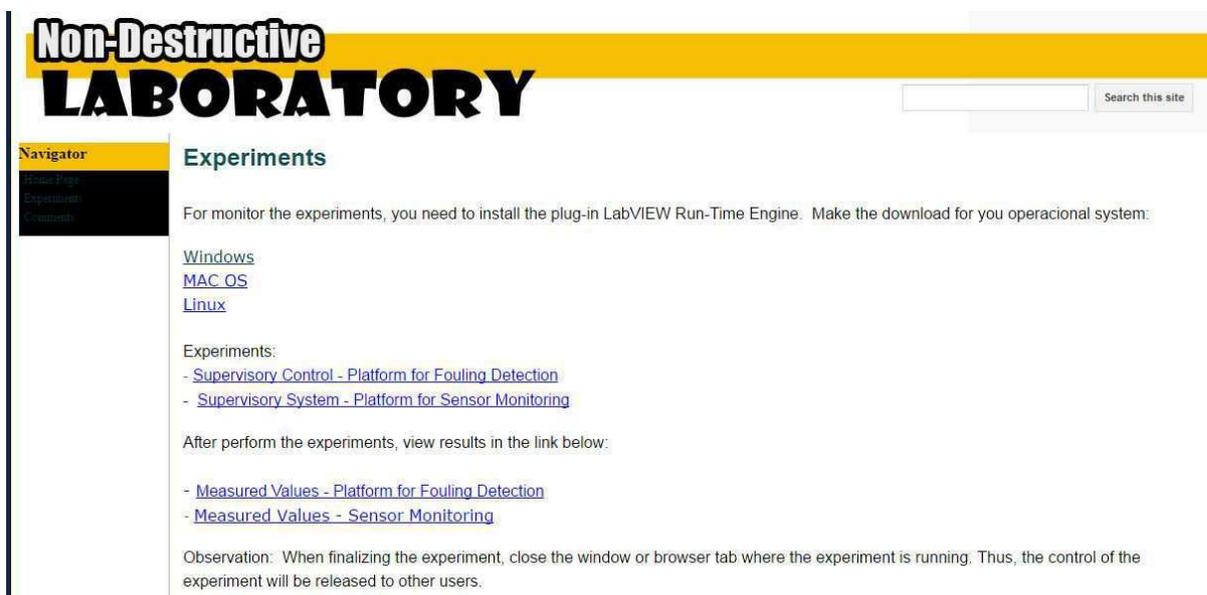


Figura 31 – Aba “*Experiments*” do *site* do laboratório.

5 Execução do Experimento

Para que o experimento possa ser acessado tanto local quanto remotamente, necessita-se que o *set-up* da plataforma seja realizado, que consiste no acionamento do disjuntor ao lado do CLP S7-300, no posicionamento da chave da CPU do CLP ou no modo RUN ou RUN-P, na seleção da chave de energização do CLP para a posição ON e na ativação do motor da esteira por meio do seu interruptor.

Com o *set-up* realizado, o projeto do sistema no LabVIEW tem que ser aberto no computador local e a partir daí, pode ser acessado remotamente. Então, ao logar no *site* do laboratório, como explicitado na seção 4.2, o usuário se deparará com o painel frontal da IHM apresentado na figura 25 e ao clicar no botão *Run* da interface do LabVIEW, o experimento começará a ser executado e no computador local aparecerá o aviso “Control transferred” (controle transferido) que indica que a interface está sendo controlada remotamente, como se pode visualizar na figura 32.

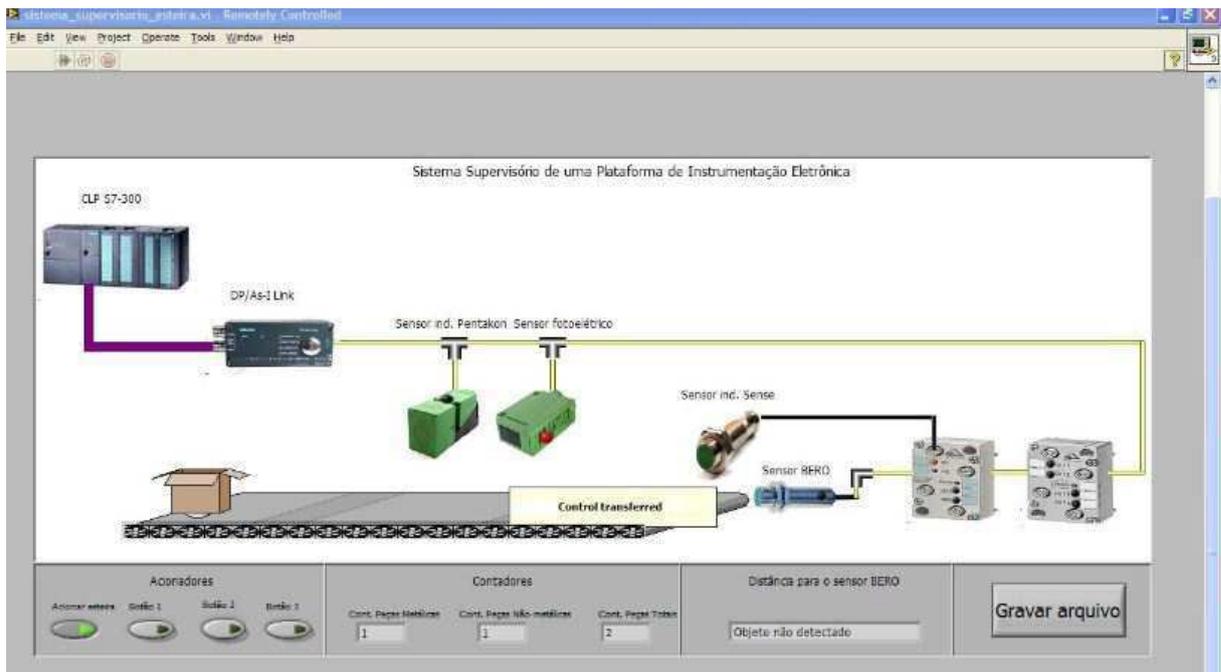


Figura 32 – Acesso remoto ao experimento sendo realizado

Sendo assim, ao usuário pressionar o botão “Acionar esteira” da interface, o CLP S7-300 realiza a leitura da posição de memória relativa a este botão e aciona a esteira. A partir deste momento, a animação das rodas da esteira se movimentando é iniciada no LabVIEW.

A partir deste ponto, os contadores podem ser ativados. Logo, caso uma peça metálica seja detectada pelo sensor indutivo Pentakon, a animação de um cilindro metálico,

que pode ser visualizado na figura 25, que se move sobre a esteira é inicializada e assim, que a peça passar pelos sensor fotoelétrico, o contador de peças metálicas e de peças totais, “Cont. Peças Metálicas” e “Cont. Peças Totais”, respectivamente, serão incrementados. Nesse ponto, utilizou-se redundância para que se por uma eventualidade a esteira quebrar e um objeto ficar parado em frente ao sensor Pentakon, o incremento de contadores só ocorra uma vez, como também, para não incrementar o contador de peças não-metálicas quando passar pelo sensor fotoelétrico.

Já se um objeto for detectado pelo sensor fotoelétrico, mas não pelo Pentakon, a animação de uma caixa de papelão se movendo sobre a esteira é ativada e os contadores de peças não-metálicas e de número de peças totais são incrementados, “Cont. Peças Não-metálicas” e “Cont. Peças Totais”, respectivamente. Também, utilizou-se da redundância para que fosse evitado o incremento dos contadores em caso de defeito na esteira.

No *display* “Distância para o sensor BERO”, pode-se verificar em que faixa de detecção do sensor BERO o objeto sobre a esteira se encontra. Os botões “Botão 1”, “Botão 2” e “Botão 3”, acionam, respectivamente, os pares de saídas OUT 1 e OUT 2 do módulo digital de quatro saídas, OUT 3 e OUT 4 do módulo de quatro saídas digitais, e OUT 3 e OUT 4 do módulo com duas entradas e duas saídas digitais. E o sensor indutivo Sense só indica se uma peça metálica se aproximou dele.

O botão “Gravar arquivo” realiza a gravação do arquivo .txt com os valores dos contadores durante todo o experimento, direcionando-o para o Dropbox do laboratório, para que os resultados possam ser acessados no *link* citado na seção 4.2 e utilizados na elaboração de um relatório.

6 Considerações Finais

Com este trabalho, foi possível desenvolver um laboratório remoto, que é uma ferramenta que pode auxiliar no aprendizado de estudantes que não tenham acesso a uma infraestrutura para a realização de experimentos práticos. Sendo assim, tendo acesso à internet e ao *link* do *site* do laboratório de Ultrassom e realizando o *download* do *plug-in* gratuito do *LabVIEW*, o estudante pode realizar o experimento e analisar o funcionamento de todo o sistema supervisorio.

Logo, o aluno entra em contato com conceitos de sensores e atuadores, reforçando o conhecimento adquirido em disciplinas como Instrumentação Eletrônica, e também, das redes industriais AS-i e Profibus-DP e da programação de controlador lógico programável, que são assuntos que são lecionados em disciplinas cujo foco é Sistemas de Automação Industrial. A implementação de interfaces com o usuário é um dos temas de disciplinas como Sistemas de Aquisição de Dados e Interface e os sistemas supervisorios são abordados em conteúdos de Informática Industrial.

Conforme apresentado, o laboratório remoto implementado pode ser utilizado em diversas disciplinas da grade curricular de cursos de Engenharia Elétrica e áreas afins, o que pode auxiliar principalmente aos alunos que não têm acesso a experimentos práticos desse tipo em suas instituições de ensino. E para futuros trabalhos, uma câmera pode ser adicionada ao sistema para que o funcionamento do sistema possa ser visualizado pelo usuário.

Referências

- ACKERMAN, W. J.; BLOCK, W. R. *Understanding Supervisory Systems. Computer Applications in Power*, IEEE, v. 5, 4, p. 37–40, 1992. ISSN 0895-0156. Citado na página 2.
- BUTUZA, R. et al. *Automation System Based On SIMATIC S7 300 PLC, for a Hydro Power Plant. International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics*, IEEE, p. 1–6, 2014. Citado na página 4.
- CHEN, X.; CHENGSHAN, W.; CHENG, K. W. E. *PLC and configuration software based supervisory and control system for oil tanks area. International Conference on Power Electronics Systems and Applications*, IEEE, p. 1–4, 2009. Citado na página 4.
- FANG, Y.; LIU, J.; XI, B. *Development of Multifunctional Controller Based on PROFIBUS-DP. Proceeding of the IEEE International Conference on Automation and Logistics*, IEEE, p. 144–148, 2007. Citado na página 8.
- GARDUNO-RAMIREZ, R.; IBARGUENGOYTIA, P. H. *On the Development of Industrial-Grade Intelligent Supervisory Systems for Power Plant Operation. Power Engineering Society General Meeting*, IEEE, 2006. Citado na página 2.
- HE, F.; GUO, K. *Modeling and Simulation of PROFIBUS-DP Network Control System. Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics*, IEEE, p. 1141–1146, 2008. Citado na página 8.
- JAGIELLA, M.; FERICEAN, S.; DROXLER, R. *New Non-contacting Linear Displacement Inductive Sensors for Industrial Automation. IEEE Sensors Journal*, IEEE, v. 7, p. 1538 – 1545, 2007. Citado na página 8.
- LIEPING, Z.; AIQUN, Z.; YUNSHENG, Z. *On Remote Real-time Communication between MATLAB and PLC Based on OPC Technology. Proceedings of the 26th Chinese Control Conference*, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 4 e 11.
- LIN-LIN, X. et al. *A Novel Design of Profibus-DP Communication Interface Card for the Intelligent Instruments of Field Network. Proceeding of the IEEE International Conference on Automation and Logistics*, IEEE, p. 382–385, 2012. Citado na página 7.
- LU, Q.; WANG, X.; ZHUANG, L. *Research and Design of Monitoring System for Belt Conveyor. International Conference on Computer Science and Service System*, IEEE, p. 1943–1945, 2012. Citado na página 4.
- NEDIC, Z.; MACHOTKA, J.; NAFALSKI, A. Remote laboratories versus virtual and real laboratories. In: *33rd Annual Frontiers in Education, 2003. FIE 2003*. [S.l.: s.n.], 2003. v. 1, p. T3E–1–T3E–6 Vol.1. ISSN 0190-5848. Citado na página 1.
- REYNDERS, D.; MACKAY, S.; WRIGHT, E. *Practical Industrial Data Communications: Best Practice Techniques*. [S.l.]: Elsevier, 2004. 271-276 p. ISBN 978-0-7506-6395-3. Citado 3 vezes nas páginas 4, 5 e 6.

- ROSARIO, J. M. *Princípios de Mecatrônica*. São Paulo: Pearson, 2014. v. 10. Citado na página 3.
- SIEMENS. *S7-300 Programmable Controller Hardware and Installation*. Nuernberg: Siemens, 1998. Citado na página 3.
- SIEMENS. *SIMATIC NET AS-Interface - Introduction and Basics Manual*. Nuernberg: Siemens, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 6.
- SVEDA, M.; VRBA, R. *Actuator-sensor- interface interconnectivity. Control Engineering Practice*, Pergamon, v. 7, p. 95–100, 1999. Citado na página 4.
- SVEDA, M. et al. *ASI instrumentation. Microprocessing and Microprogramming*, Elsevier, v. 40, 10-12, p. 879–882, 1994. Citado na página 4.
- SVEDA, M.; VRBA, R.; ZEZULKA, F. *Coupling Architectures for Low-Level Fieldbuses. Engineering of Computer Based Systems*, IEEE, v. 7, p. 148–153, 2000. Citado na página 4.
- THOMAS, K. M. S.; ALENA, K. *Fuzzy Control of Robotic Arm Implemented in PLC. IEEE 9th International Conference on Computational Cybernetics*, IEEE, p. 45–49, 2013. Citado na página 4.
- WU, X. et al. *Pu-Er Tea automated fermentation system based on PLC and WINCC. International Conference on Computer and Automation Engineering*, IEEE, p. 406–409, 2010. Citado na página 4.
- XU, H. et al. *Continuous Path Detection Method of Intelligent Track-searching Vehicle Based on Photoelectric Sensor. Proceedings of the 8th World Congress on Intelligent Control and Automation*, IEEE, p. 5279–5282, 2010. Citado na página 8.
- XU, J.; FANG, Y.-J. *Profibus Automation Technology and Its Application in DP Slave Development. Proceedings of 2004 International Conference on Information Acquisition*, IEEE, p. 155–159, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 8.
- YU, P. et al. *Design and Implementation of PROFIBUS-DP Intelligent Slave Station Controller. 2012 Second International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control*, IEEE, p. 133–138, 2012. Citado na página 8.