

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

LARISSA AGNES PEREIRA DOS SANTOS RONQUI

**LABORATÓRIO REMOTO DE AUTOMAÇÃO PARA APRENDIZAGEM DE
CONCEITOS DE REDES DE PETRI**

DISSERTAÇÃO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2015

LARISSA AGNES PEREIRA DOS SANTOS RONQUI

**LABORATÓRIO REMOTO DE AUTOMAÇÃO PARA APRENDIZAGEM DE
CONCEITOS DE REDES DE PETRI**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de “Mestre em Engenharia Elétrica”.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Banheti Rabello
Vallim

CORNÉLIO PROCÓPIO

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

R773 Ronqui, Larissa Agnes Ferreira dos Santos
Laboratório remoto de automação para aprendizagem de conceitos de redes de Petri / Larissa Agnes Ferreira dos Santos Ronqui. – 2015.
88 p. : il. ; 30 cm

Orientador: Marcos Banheti Rabello Vallim.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica. Cornélio Procópio, 2015.

Bibliografia: p. 75-79.

1. Laboratórios experimentais. 2. Petri, Redes de. 3. Controle automático. 4. Engenharia elétrica – Dissertações. I. Vallim, Marcos Banheti Rabello, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD (22. ed.) 621.3



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Cornélio Procópio
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica



Título da Dissertação N° 025:

“Laboratório remoto de automação para aprendizagem de conceitos de redes de Petri”.

por

Larissa Agnes Pereira dos Santos Ronqui

Orientador: Prof. Dr. Marcos Banheti Rabello Vallim

Esta dissertação foi apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA – Área de Concentração: Sistemas Eletrônicos Industriais, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica– PPGEE – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Cornélio Procópio, às **9 horas** do dia **28** de **outubro** de **2015**. O trabalho foi aprovado pela Banca Examinadora, composta pelos professores:

Prof. Dr. Marcos Banheti Rabello Vallim
(Presidente)

Prof. Dr. Antonio Eduardo Carrilho da Cunha
(IME)

Prof. Dr. Wagner Endo
(UTFPR)

Visto da coordenação:

Paulo Rogério Scalassara

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
UTFPR Câmpus Cornélio Procópio

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa.

À Deus, à minha família, aos amigos, aos professores e ao meu orientador, pelo apoio, força, incentivo, companheirismo e amizade. Sem eles nada disso seria possível.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me amparar nos momentos difíceis, me dar força interior para superar as dificuldades, mostrar os caminhos nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades.

À minha família, pelo apoio e compreensão nos períodos de ausência, em especial aos meus pais - Oswaldo e Vera -e à minha irmã, Mayara Ronqui. À minha companheira incondicional, Carolina Ribeiro, pelo amor e paciência.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Marcos Banheti Rabello Vallim, por acreditar em mim, me mostrar o caminho da ciência, por ser um exemplo de pessoa e profissional que sempre fará parte da minha vida.

Um agradecimento especial ao Prof. Dr. Wagner Endo por toda ajuda no decorrer destes anos, principalmente pelo incentivo para participar do programa de mestrado.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UTFPR – Câmpus Cornélio Procópio, pelos conhecimentos transmitidos no decorrer destes anos.

A todos os amigos que fizeram parte desta caminhada, por todos os momentos e conhecimentos compartilhados, em especial, agradeço a Rodrigo Pita e a Lucas Belório.

À UTFPR pelo suporte acadêmico e tecnológico.

À Capes, pelo apoio financeiro disponibilizado por meio de bolsa de estudo demanda social.

Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes.

(Marthin Luther King)

RESUMO

RONQUI, Larissa Agnes Pereira dos Santos. **Laboratório Remoto de Automação para Aprendizagem de Conceitos de Redes de Petri**. 2015. 88 f. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2015.

O ensino na área de automação industrial, em cursos de engenharia, além dos fundamentos teóricos, requer o aprendizado prático de implementação de redes de Petri, *hardwares* e *softwares* dos controladores lógicos programáveis. Para desenvolver conhecimentos e habilidades, é necessário o uso intensivo de laboratórios, os quais nem sempre estão disponíveis nas universidades. Nesse contexto, os laboratórios remotos contribuem para prover experiências e aprendizado prático real, por meio do controle de equipamentos a um número maior de alunos e de universidades diferentes. Este trabalho tem por finalidade implementar um laboratório remoto de automação para viabilizar práticas de aprendizagem de redes de Petri. O laboratório remoto disponibiliza experiências a partir de plantas industriais virtuais e as implementa utilizando um controlador lógico programável (CLP) que é programado em Grafset de acordo com tarefas pré-definidas. A lógica de controle das plantas industriais é modelada em rede de Petri Interpretada e, posteriormente, é gerado um programa em Grafset. O laboratório possibilita a qualquer usuário, conectado à internet, a possibilidade de enviar e monitorar comandos remotamente de forma interativa e rápida. Para demonstrar a utilização do laboratório, foi realizado um cenário no qual são descritas as ações de um usuário do sistema e a resposta do sistema às ações do usuário, para a modelagem e controle de uma planta de dosagem de tinta. O trabalho apresenta também um estudo de usabilidade, realizado com dez alunos voluntários do curso de graduação em Engenharia de Controle e Automação, levando em consideração características de inteligibilidade, apreensibilidade, operacionabilidade e atratividade do laboratório remoto.

Palavras-chave: Laboratório Remoto, Redes de Petri, Grafset.

ABSTRACT

RONQUI, Larissa Agnes Pereira dos Santos. **Laboratory Automation for Remote Concepts Learning Petri Nets**. 2015. 88 f. Dissertação – Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2015

In education in industrial automation, engineering courses, in addition to theoretical foundations, it requires practical learning implementation of Petri nets, hardware and software for programmable logic controllers. To develop the knowledge and skills intensive use of laboratories, which are not always available in universities. In this context, remote laboratories contribute to provide experiences and real hands-on learning through the equipment control to a great number of different students and universities. This study aims to propose build a remote lab automation to provide experiments of Petri nets. Experiences are drawn from a virtual and industrial systems implemented using a programmable logic controller (PLC) that is programmed in Grafset according to predefined specifications. The system to be modeled is implemented in Petri net and the generated in a program Grafset. The laboratory enables any user connected to the internet can send and monitor remotely commands interactively and quickly. To demonstrate the use of the laboratory, a practical experiment was carried out with the control of an ink production following step by step guidelines given to the remote user. The paper also presents a usability study conducted with ten course the student volunteers degree in Control and Automation Engineering, taking into account characteristics of understandability, learnability, operability and attractiveness of the remote laboratory.

Keywords: Remote Laboratory, Petri Net, Grafset.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES - FIGURAS

Figura 1 - Visão geral do laboratório remoto de qualidade de energia elétrica.....	26
Figura 2 - Experiências disponíveis.	27
Figura 3 - Kit experimental Lab-RAI.....	28
Figura 4 – Arquitetura laboratório remoto.	29
Figura 5 - Gráfico da frequência das justificativas quanto ao uso de laboratórios remotos.....	30
Figura 6 - Representação de lugar (círculo), transição (barra) e arco (seta).	34
Figura 7 - Sistema batelada.	36
Figura 8 - Modelo rede de Petri.	36
Figura 9 - Processamento de dados da rede de Petri interpretada para controle.....	38
Figura 10 - Estação de coleta de petróleo.	40
Figura 11 - Modelo do controle.....	40
Figura 12 - Exemplo de estrutura de um Grafcet.	42
Figura 13 – Grafcet acionamento de cilindros.....	43
Figura 14 - Conversão RdP para Grafcet.....	47
Figura 15 - Arquitetura laboratório remoto de automação.	51
Figura 16 - Página inicial do laboratório remoto	54
Figura 17 - Ambiente de programação Step7.	55
Figura 18 - Ambiente ITS PLC.....	56
Figura 19 - Sensores e atuadores sistema de dosagem de tintas.....	58
Figura 20 – RdPI reservatório e tanque de medição tinta vermelha.	61
Figura 21 – RdPI reservatório e tanque de medição tinta verde.	61
Figura 22 - RdPI reservatório e tanque de medição tinta azul.....	62
Figura 23 - RdPI tanque de mistura.....	62
Figura 24 - RdPI para produção de tinta branca.	63
Figura 25 - Grafcet para produção de tinta branca.	64
Figura 26 - Visualização do sistema de dosagem para produção de tinta branca.	65
Figura 27 - Modelo de qualidade interna e externa.	66
Figura 28 - Gráfico com resposta de inteligibilidade.	67

Figura 29 - Gráfico com resposta de apreensibilidade.....	68
Figura 30 - Gráfico com resposta de operacionabilidade.	69
Figura 31 - Gráfico com resposta de atratividade.....	70
Figura 32 - Gráfico de qualidade laboratório remoto.	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação de laboratórios.....	17
Quadro 2 - Comparação entre laboratórios.	19
Quadro 3 - Vantagens e desvantagens.....	19
Quadro 4 - Títulos e autores dos laboratórios em estudo.	25
Quadro 5 - Conversão RdP para Ladder.....	45
Quadro 6 - Produção de tinta branca.	59
Quadro 7 - Endereço dos sensores do sistema de dosagem de tinta.....	59
Quadro 8 - Endereço dos atuadores do sistema de dosagem de tinta.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	Central Processing Unit
DAQ	Data Aquisition
EAD	Educação a Distância
HTML	Hyper Text Markup Language
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ITS PLC	Interacitve Training System for Programmable Logic Controller
JVM	Java Virtual Machine
LabView	Laboratory Virtual Instrument Engeneering Workbench
MySQL	Structured Query Language
PC	Personal Computer
PHP	PHP Hypertext Preprocessor
RdP	Rede de Petri
RdPI	Rede de Petri Interpretada
RTAI	Real Time Aplication Interface
SED	Sistema a Evento Discreto
SBBT	Second Best of Beeing There
SFC	Sequencial Function Chart
TCP/IP	Transmission Control Protocol/ Internet Protocol
UCP	Unidade Central de Processamento
USB	Universal Serial Bus

LISTA DE SÍMBOLOS

P	Conjunto finito de lugares
T	Conjunto finito de transições
A	Conjunto de arcos
ω	Função de Ponderação
I	Conjunto de lugares de entrada
O	Conjunto de lugares de saída
x_0	Marcação inicial
C_j	Condições do meio externo
E_j	Eventos associados
V	Conjunto de variáveis
N	Rede de Petri marcada
E	Conjunto de eventos
T_0	Transições sem atraso
T_D	Transições com atraso

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVOS.....	14
1.1.1 Objetivo geral.....	14
1.1.2 Objetivos específicos	14
1.2 CONTRIBUIÇÃO E RELEVÂNCIA DO TRABALHO	15
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	16
2 ESTUDO DE ENSINO E APRENDIZAGEM EM ENGENHARIA	17
2.1 INTRODUÇÃO.....	17
2.2 CLASSIFICAÇÃO DE LABORATÓRIOS	17
2.3 LABORATÓRIO DE EXPERIMENTAÇÃO REMOTA.....	19
2.3.1 Importância dos laboratórios remotos na pesquisa e aprendizado de engenharia.....	22
2.3.2 Tipos de experimentos remotos	23
2.4 ESTUDO SOBRE LABORATÓRIOS REMOTOS	24
2.5 CONCLUSÃO	32
3 REPRESENTAÇÃO DE SISTEMAS A EVENTOS DISCRETOS POR MEIO DE REDES DE PETRI	33
3.1 INTRODUÇÃO.....	33
3.2 SISTEMAS A EVENTOS DISCRETOS	33
3.3 REDES DE PETRI	34
3.4 REDES DE PETRI INTERPRETADAS	37
3.4.1 Rede de Petri Interpretada de David e Alla (2010).....	37
3.5 GRAFCET.....	41
3.6 CONCLUSÃO	43
4 IMPLEMENTAÇÃO DAS RDP EM CLPS.....	44
4.1 INTRODUÇÃO.....	44
4.2 IMPLEMENTAÇÃO DE RDP PARA LADDER	44
4.3 IMPLEMENTAÇÃO DE RDP PARA GRAFCET	46
4.4 CONCLUSÃO	47
5 PROPOSTA E DESENVOLVIMENTO DE UM LABORATÓRIO REMOTO DE AUTOMAÇÃO	48
5.1 INTRODUÇÃO.....	48
5.2 REQUISITOS PEDAGÓGICOS PARA APRENDIZAGEM	48
5.3 REQUISITOS TÉCNICOS	49
5.4 ARQUITETURA PROPOSTA.....	50
5.5 DINÂMICA DE USO DO LABORATÓRIO REMOTO	53
5.6 CONCLUSÃO	56
6 TESTES DE VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO LABORATÓRIO REMOTO ...	57
6.1 INTRODUÇÃO.....	57

6.2 CENÁRIO DE UTILIZAÇÃO	57
6.3 USABILIDADE DO LABORATÓRIO REMOTO	65
6.4 CONCLUSÃO	71
7 CONCLUSÃO.....	73
7.1 TRABALHOS FUTUROS	73
REFERÊNCIAS	75
APÊNDICES	80
APÊNDICE A – BANCO DE ENSAIOS PARA CLP SIEMENS S7-300	81
APÊNDICE B – TIGHTVNC	82
APÊNDICE C– SOFTWARE SIMATIC STEP 7	83
APÊNDICE D - ITS PLC.....	84
APÊNDICE E – TINA – TIME PETRI NET ANALYZER	87
APÊNDICE F – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO	88

1 INTRODUÇÃO

Os métodos de engenharia incluem descoberta, avaliação e investigação, e as habilidades aplicáveis de engenharia incluem experimentação, análise de dados e modelagem (MIDDLETON et al., 1996). Para desenvolver essas habilidades é necessário o uso intensivo de laboratórios, os quais nem sempre estão disponíveis nas universidades. Neles ocorre a aplicação de testes de conhecimentos teóricos em situações práticas (AUER et al., 2003), por isso em um laboratório de sistemas de engenharia é possível criar métodos, desenvolver habilidades, descobrir princípios e atualizar disciplinas.

A falta de prática nos laboratórios e a necessidade de mais embasamento para ter melhor desempenho nos estágios curriculares e no início da vida profissional são queixas frequentes dos alunos de cursos de engenharia. Martin e Brown (1998), citados por Dias (2005), entrevistaram, durante dez anos, alunos dos cursos superiores do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Engenharia Elétrica de Arkansas, em Fayetteville, aproximadamente 2 semanas antes de completarem o semestre final. Ficou evidente que muitos estudantes sentiam que as disciplinas do currículo careciam de treinamento prático adequado. Verificou-se também que os alunos precisavam de exposição a uma variedade mais ampla de experiências e de equipamentos.

O uso de laboratórios remotos surge como um recurso efetivo para a realização de experiências reais por um número maior de alunos. Um laboratório remoto pode ser descrito como a extensão de um ou mais instrumentos de medição real por meio de uma rede distribuída, a fim de disponibilizar os seus recursos a usuários remotos. Além de promover a interação entre utilizadores e entidades, ele possibilita ainda a partilha dos equipamentos e dos custos associados a cada instalação, oferecendo uma operação mais flexível do que o laboratório tradicional, pois o usuário pode se conectar ao computador no qual estão os experimentos de qualquer lugar e a qualquer hora, para utilizar os recursos disponíveis.

Laboratórios remotos também são ferramentas poderosas para ilustrar conceitos ministrados em aulas, proporcionando a utilização de tecnologias de ponta para o ensino a distância, como o estudo na área de sistemas a eventos discretos. A teoria de sistemas a eventos discretos constitui a estrutura principal para a modelagem e projeto de sistemas de automação industrial, uma vez que, nesses, as dinâmicas são definidas pela ocorrência de eventos e manutenção de estados discretos.

A natureza complexa dos modernos sistemas industriais, a exigência de alterações rápidas e testes sem interrupção de produção fazem com que o projeto e a operação dos sistemas de automação requeiram ferramentas de modelagem e análise. A rede de Petri tem se mostrado uma ferramenta apropriada de modelagem de tais sistemas, provendo uma solução integrada para modelagem, análise, simulação e controle de processos industriais, pois apresenta facilidade de modificação e capacidade de análise de propriedades importantes para controle, tais como longevidade, segurança e reversibilidade (CASSANDRAS; LAFORTUNE, 2008). Uma das maiores vantagens do uso de modelos de rede de Petri é que o mesmo modelo pode ser usado para análise de propriedades comportamentais e avaliação de desempenho e também para a construção de simuladores e controladores de eventos discretos.

Devido ao grande avanço na pesquisa em torno de formalismos e linguagens que podem executar, implementar e controlar um sistema a eventos discretos, é de significativa importância a criação de um laboratório remoto que vise tratar do assunto em termos de aplicação, pois muito do que é visto tem caráter apenas conceitual. A experiência de ensino em engenharia de automação industrial, em nível de graduação, tem mostrado a importância de três elementos: (i) a prática com *hardware* e *software* dos Controladores Lógicos Programáveis, (ii) as redes de Petri aplicadas a projetos de automação e (iii) um conjunto consistente de experiências de laboratórios (MORAES; CASTRUCCI, 2002).

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos que conduzem a pesquisa neste trabalho são divididos em geral e específicos.

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é propor um laboratório remoto de automação para aprendizagem de conceitos de redes de Petri.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são definidos como seguem:

- Realizar um estudo sistemático e comparativo sobre laboratórios remotos existentes;
- Realizar um estudo sobre redes de Petri, selecionando conceitos fundamentais e as técnicas de implementação em equipamento de controle;
- Realizar um estudo sobre linguagem Grafcet;
- Propor a arquitetura de laboratório remoto para aprendizagem de conceitos de redes de Petri;
- Projetar e implementar o laboratório remoto de automação, baseado na arquitetura proposta, disponibilizando experimentos práticos com controlador lógico programável, utilizando-se da modelagem de rede de Petri e Grafcet.

1.2 CONTRIBUIÇÃO E RELEVÂNCIA DO TRABALHO

O processo de ensino-aprendizagem articulado às tecnologias de informação e comunicação é uma abordagem construtiva que possibilita o ensino crítico e desenvolve as competências exigidas para o perfil profissional de um Engenheiro. Neste enfoque, o laboratório remoto é uma ferramenta para construção do conhecimento que disponibiliza experiências de redes de Petri.

As experiências são elaboradas a partir de sistemas industriais virtuais e implementadas utilizando-se um controlador lógico programável (CLP) que é programado em Grafcet de acordo com especificações pré-definidas. O sistema implementado é modelado em rede de Petri Interpretada e posteriormente gerado um programa em Grafcet. O laboratório possibilita que qualquer usuário conectado à internet possa monitorar e enviar comandos remotamente de forma interativa e rápida.

Sistemas de controle automáticos requerem muito conhecimento teórico, a consequência desse fato é que um número grande de conceitos novos tem que ser introduzido em cursos de controle e de automação, mas eles nem sempre são absorvidos devido à falta de aulas práticas. Nesse sentido, um laboratório remoto de automação deve ser proposto com a missão de (i) reunir todos os conceitos teóricos ministrados em sala de aula, facilitando a sua compreensão pela atividade prática; (ii) ensinar ao aluno o uso de equipamentos técnicos complexos e, introduzir a prática de modelagem de redes de Petri e o controle de sistemas industriais por meio de controladores lógicos programáveis, assim preenchendo expectativas da formação prática (iii).

O trabalho também apresenta um teste de verificação e validação para avaliar a eficácia do laboratório remoto como ferramenta para o ensino e aprendizagem. Para testar a usabilidade foram convidados dez alunos do curso de graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Os alunos responderam a um questionário sobre a dinâmica do laboratório remoto, baseado na característica de usabilidade do produto *software* da norma NBR ISO/IEC 9126-1.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em sete capítulos, incluindo a introdução, na qual se apresenta o tema, objetivos e o modo de organização do trabalho para orientação do leitor. Após esta introdução, portanto, são desenvolvidos os seguintes aspectos do tema: no capítulo 2, traz a descrição dos tipos de laboratórios existentes (real, virtual e remoto) e todas as características importantes para a criação de um ambiente desta natureza. No terceiro capítulo, são apresentados os conceitos sobre sistemas a eventos discretos e as definições matemáticas de redes de Petri e suas extensões. O capítulo 4, são descritos os métodos de implementação de redes de Petri em CLPs por meio da linguagem Ladder e Grafcet.

O capítulo 5 apresenta detalhes da implementação e da arquitetura do laboratório remoto e o sexto capítulo demonstra a realização de um exemplo prático no laboratório remoto e um estudo de usabilidade do mesmo. Ao final, na conclusão do trabalho, serão destacados os principais conceitos, objetivos e aplicações desta pesquisa.

2 ESTUDO DE ENSINO E APRENDIZAGEM EM ENGENHARIA

2.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, é apresentado o referencial teórico sobre laboratórios de ensino e de aprendizagem em engenharia, destacando definição, classificação e importância dos laboratórios remotos, a fim de contribuir para a proposta do trabalho. Apresenta também um estudo comparativo sobre laboratórios remotos de Engenharia Elétrica e Controle e Automação.

2.2 CLASSIFICAÇÃO DE LABORATÓRIOS

Laboratórios são basicamente classificados, segundo Auer et al. (2003), quanto à localização dos alunos e ao tipo do experimento, conforme mostra o quadro 1. Observam-se os modelos de laboratórios, sendo eles: reais (tradicional), remotos e virtuais.

	ALUNO	
	LOCAL	REMOTO
EXPERIMENTO REAL	Laboratório tradicional	Laboratório remoto
EXPERIMENTO VIRTUAL	Simulação local	Laboratório virtual

Quadro 1 - Classificação de laboratórios.

Fonte: Autoria própria.

Os laboratórios reais consistem em espaços localizados na própria instituição de ensino, nos quais o aluno dispõe de equipamentos para a realização de seus experimentos. Salienta-se que, nesses laboratórios, é comum o aluno estar acompanhado do docente, havendo revezamento no uso do material, visto que a falta de recursos financeiros, muitas vezes, inviabiliza o uso individual de todo o conjunto de instrumentos e materiais necessários às experiências de cada aluno.

Nos laboratórios remotos, não é necessária a presença do aluno na instituição para que este possa realizar seus experimentos. Esse tipo de ferramenta oferece ao aluno uma interface que lhe permite a manipulação a distância de instrumentos.

Laboratórios virtuais consistem em plataformas digitais, oferecidas com o intuito de dar suporte à realização de experiências sem a necessidade da presença do usuário em um determinado local. Esses laboratórios não existem fisicamente e, em geral, utilizam todos os equipamentos simulados (virtuais).

Experimentos reais são melhores educacionalmente, no entanto, se comparados às simulações, pois apresentam características, muitas vezes, desprezadas pelos simuladores, como ruídos (perturbações), limites de controle e efeitos não lineares, além de possuir uma dinâmica real do processo e possibilitar o uso de equipamentos empregados na indústria. O maior problema é o preço das instalações reais, organizadas em instituições de ensino. A instituição, além do custo de aquisição do equipamento, necessita arcar com a manutenção, instalação e possível reposição dos materiais utilizados no laboratório.

Como o aumento no número de estudantes exige um aumento no número de laboratórios em universidades e outras instituições de ensino, os laboratórios remotos são uma alternativa para atender a essa demanda. Eles são acessíveis a um maior número de estudantes, possuindo tanto flexibilidade espacial (alunos podem estar fora da instituição de ensino), quanto temporal (os experimentos podem ser acessados 24 horas por dia, nos 7 dias da semana).

Embora os laboratórios remotos aumentem o alcance dos laboratórios comuns, o uso deles para ensino à distância deve estar ligado a materiais educacionais que expliquem o funcionamento do experimento, já que o professor ou instrutor não acompanhará a experiência remota. Eles representam situações reais de experimentos físicos, contudo experimentos reais são melhores para o aprendizado, como já mencionado.

Conclui-se, portanto, que laboratórios reais, acessíveis remotamente e com suporte de ensino, representam uma interessante alternativa para o ensino de controle e automação. Todas essas tecnologias ainda representam um custo alto por estudante. Apesar disso, autores, como Atkan et al. (1996), afirmam que, embora os investimentos sejam altos, a utilização de laboratórios remotos para ensino se torna uma opção mais atrativa economicamente.

A seguir, o quadro 2 relaciona os tipos de laboratório com algumas das suas características importantes como custo, didática e acessibilidade. O termo 24-7 indica que o laboratório estará disponível 24 horas por dia, todos os 7 dias da semana.

	CUSTOS	DIDÁTICA	ACESSIBILIDADE
LABORATÓRIO TRADICIONAL	Alto	Depende do professor/instrutor	Depende da instituição e do professor/instrutor
LABORATÓRIO REMOTO	Alto	Requer ambiente virtual de aprendizado e material didático	24-7 Depende de agendamento
LABORATÓRIO VIRTUAL	Depende do custo do simulador e do modelo	Perda da ligação com a realidade Requer ambiente virtual de aprendizado e material didático	24-7

Quadro 2 - Comparação entre laboratórios.

Fonte: Autoria própria.

O quadro 3 apresenta um resumo das principais vantagens e desvantagens dos três conceitos de laboratórios existentes.

	VANTAGENS	DESVANTAGENS
LABORATÓRIO REAL	Interação real com equipamento; presença real no laboratório.	Restrições de tempo e local; custo médio alto; requer supervisão.
LABORATÓRIO REMOTO	Conhecimentos de sinais reais; melhor conhecimento de instrumentação de medida; interação real com o equipamento; não há restrições de tempo e local	Somente presença virtual no laboratório; custo médio alto; pode haver restrições de tempo no acesso a plataforma.
LABORATÓRIO VIRTUAL	Não existem restrições de tempo de acesso local; baixo custo; acesso simultâneo por vários usuários.	Usualmente não há interação com o operador da plataforma; não há interação real com o equipamento.

Quadro 3 - Vantagens e desvantagens.

Fonte: Autoria própria.

2.3 LABORATÓRIO DE EXPERIMENTAÇÃO REMOTA

De acordo com Borges, citado por Schumacher et al. (2004, p. 3),

[...] o Laboratório de Experimentação Remota como é chamado é uma aplicação educacional nova que permite a estudantes buscar

informações no mundo real a partir de um computador remoto e em tempo real. Nele se permite executar ações em dispositivos externos ao computador que está sendo acessado, ainda que controlados pelo mesmo.

Assim, laboratórios remotos são sistemas constituídos de uma planta física, composta de equipamentos reais, que são operados a distância por meio de uma interface gráfica, utilizando a rede internet como meio de comunicação.

A experimentação remota pode ser vista tanto como uma simples forma de compartilhamento e melhor aproveitamento de recursos, que podem ser caros e escassos, como outro paradigma de experimentação no atendimento a objetivos educacionais, participando de maneira complementar ou não da experimentação presencial. Para o Ensino a Distância (EaD), a experimentação remota pode, em muitos casos, suprir a necessidade imposta por práticas pedagógicas, fazendo com que o aluno realize experimentos laboratoriais (TEIXEIRA et al., 2005, p. 518).

A desvantagem do experimento realizado por meio de laboratórios remotos é a falta de convivência entre alunos em sala de aula e a falta de contato direto com os equipamentos. Mas, existe a vantagem de realizar atividades a qualquer hora do dia, o que seria difícil no modo presencial, devido à disponibilidade de laboratórios e monitores. Ainda de acordo com Teixeira et al. (2005), as possibilidades da realização de experimentos remotos agregam novos objetivos educacionais àqueles constantes da realização presencial desses mesmos experimentos.

Com efeito, a observação e o controle remotos ocorrem durante a realização de um experimento que exerce várias funções, dentre elas destacam-se: (i) a capacitação do estudante para operar o controle de fenômenos de interesse por meio de sistemas informatizados e redes; (ii) a habituação dos estudantes com esses recursos, quando se obtém dados em tempo real, que são utilizados para se tomar determinadas decisões quanto ao experimento realizado.

Torna-se muito importante a implementação de laboratórios remotos nos cursos de graduação, criando oportunidade de acesso a experimentos práticos para fixação de conteúdo. O grande problema é que a maioria dessas implementações são feitas com a preocupação apenas na tecnologia utilizada. Torna-se extremamente importante a integração dos experimentos em um ambiente de aprendizado colaborativo, no qual diversos alunos possam interagir e realizar a troca de experiências e de informações.

Ferreira e Muller (2004) definem experimento remoto como uma atividade na qual uma pessoa (ou um grupo de pessoas) usa uma rede de comunicação para realizar algum tipo de trabalho em um laboratório. Essa definição abrange uma série de cenários para experimentos remotos em diversas áreas do conhecimento. A distância não é o fator principal, o que faz com que o experimento seja remoto é o fato de poder utilizar a rede para acessar o equipamento remotamente.

Na EAD, alunos podem utilizar laboratórios de qualquer lugar, desde que esteja disponível uma rede de internet. De acordo com Teixeira et al. (2005), recursos físicos são equipamentos ou instrumentos que podem ser controlados remotamente de qualquer lugar e são capazes de transmitir dados pertinentes a algum experimento.

Os benefícios do uso de um laboratório remoto no contexto do ensino de graduação e pós-graduação são evidentes. O emprego de laboratórios remotos permite que os custos com equipamentos possam ser minimizados, uma vez que os mesmos poderão ser disponibilizados por um maior espaço de tempo na realização dos experimentos. Dessa forma, pode haver um melhor aproveitamento dos instrumentos de medida e de equipamentos diversos, com base em um sistema supervisorio para controle de acesso de usuário que poderá ficar ativo em tempo integral.

De acordo com Johnston e Agarwal, citados por Silva (2006, p.128), um Laboratório de Experimentação Remota deve apresentar os seguintes requisitos:

- a) Controle remoto e monitoramento dos experimentos;
- b) Comunicações multimídia entre os usuários;
- c) Um caderno de notas digital com todas as facilidades para introdução de dados, arquivos, figuras, buscas, etc;
- d) Gestão dos recursos, para decidir adequadamente que usuários podem acessar cada um dos experimentos disponíveis;
- e) Segurança tanto no aspecto de permitir e negar acesso como nos recursos para gerir possíveis falhas do sistema;
- f) Diversos tipos de comunicação: voz, imagem, dados, resultado de experimentos, estado dos experimentos;
- g) Largura de banda: adequada para permitir as distintas comunicações de dados, imagens ou vídeo.

Silva (2006, p. 135) enfatiza que um laboratório remoto possui grandes vantagens para as instituições de ensino, como:

- a) Maior utilização dos equipamentos do laboratório: ao estarem disponíveis os equipamentos 24 horas por dia, 365 dias ao ano, seu rendimento é maior;
- b) Organização de laboratórios: não é necessário manter os laboratórios abertos a toda hora, basta que estejam em operação;
- c) Organização do trabalho dos alunos: com os laboratórios remotos, os alunos e professores podem organizar melhor seu tempo, de maneira similar aos horários de aulas;
- d) Aprendizagem autônoma: os laboratórios remotos fomentam o trabalho autônomo, que é fundamental no modelo atual de educação superior;
- e) Abertura para a sociedade: os laboratórios remotos podem ser colocados à disposição da sociedade;
- f) Cursos não presenciais: possibilitam a organização de cursos totalmente não presenciais, evitando muitos dos problemas atuais;
- g) Inserção dos usuários em um contexto real.

A Experimentação Remota busca resolver os problemas de acesso aos laboratórios clássicos, com o objetivo de:

- a) Incrementar as atividades práticas em um curso (de forma que os alunos possam acessá-los em qualquer horário, não somente quando estejam em supervisão de um docente no laboratório real);
- b) Reduzir os custos de gestão e manutenção dos laboratórios;
- c) Permitir o uso dos mesmos em qualquer ponto geográfico, de forma que sejam reduzidos ou minimizados os custos de deslocamento. Da mesma forma, é possível o uso a qualquer hora, resolvendo o problema dos fusos horários com outras zonas geográficas;
- d) Integrar em um mesmo ambiente as aplicações docentes na prática, com a experimentação, integração de materiais, simulações e acesso a equipamentos e dispositivos (SILVA, 2006, p. 121).

2.3.1 Importância dos laboratórios remotos na pesquisa e aprendizado de engenharia

Um dos grandes obstáculos enfrentados pelos alunos de graduação em engenharia elétrica e controle e automação é o elevado grau de abstração com o qual são solicitados a trabalhar. Alguns conceitos fundamentais para a sua formação somente podem ser visualizados por meio de práticas laboratoriais. No intuito de reduzir o impacto dessa situação, os professores da área de formação de engenheiros eletricitistas são levados, continuamente, a procurar formas de representação desses conceitos abstratos.

Nesse contexto, ganham importância as atividades didáticas voltadas para a modelagem, visualização, simulação e experimentação, pois é por meio delas que se consegue quebrar a barreira que separa o conceito teórico e abstrato da sua aplicação prática (SOUZA; OLIVEIRA, 2001). Entende-se, então, que as práticas laboratoriais são de suma importância para a pesquisa e para o aprendizado, entretanto a dificuldade está em garantir aos alunos e pesquisadores o fácil acesso a esses laboratórios.

Seria interessante que o alcance das atividades experimentais pudesse ser expandido para todos os alunos, permitindo maior tempo de acesso aos laboratórios de sua instituição, dentro e fora dos horários convencionais, para repetir, sem a limitação de tempo de uma aula convencional, as partes de um procedimento experimental cujos conceitos não tenham sido adequadamente aprendidos.

Essas expectativas podem ser supridas, pelo menos parcialmente, com um conceito relativamente novo: a utilização dos laboratórios remotos acessíveis via internet. Assim como a educação a distância fornece uma opção de acesso à informação, mesmo aos alunos mais distantes, os laboratórios remotos reforçam o aprendizado melhorando o acesso a experimentações práticas.

2.3.2 Tipos de experimentos remotos

Existem diversos tipos de experimentos remotos, mas pode-se classificá-los em dois grandes grupos:

- a) Experimentos que não necessitam transmissão de vídeo e áudio: esses laboratórios não necessitam de transmissão de vídeo, pois o experimento em questão não irá produzir nenhuma alteração física (real) visual ou audível. Exemplo: Programação de microprocessadores (FERREIRA et al., 2002).
- b) Experimentos que possibilitam a visualização por meio da transmissão de vídeo/áudio: apresentam alguma modificação visual física perceptível na

experiência que é grande importância para a realidade da experiência (ALBU, 2004).

Geralmente as transmissões de vídeo produzidas por *WebCams* são de baixa qualidade, isso se deve à falta de garantia de qualidade de serviço (QoS) e das redes que dificultam a transmissão de vídeo de forma eficiente e de maneira flexível (WU, 2001), como, por exemplo: experimentos de controle de nível de tanques (CASINI; PRATTICHIZZO; VICINO, 2003) e experimentos de eletropneumáticos em ambientes de realidade mista (BRUNS; ERBE, 2004). A transmissão de áudio é rara, mas ainda encontramos experimentos remotos que possibilitam seu uso, por exemplo: instrumentação de óptica laser programada em JAVA (FALTIN et al., 2002).

Para a transmissão de vídeo, algumas considerações devem ser feitas com relação à forma de transmissão e à velocidade de conexão (COOPER; DONNELLY; FERREIRA, 2002). Existem várias maneiras de encapsular o vídeo para a transmissão na internet. O NetMeeting, da Microsoft, lida com áudio e vídeo para conferências e pode ser adaptado para transmitir áudio e vídeo de uma experiência remota real (SRINAVASAGUPTA; JOSEPH, 2003). Outras maneiras mais portáteis utilizam Java Media Framework (JMF) para a transmissão de imagens (COOPER; DONNELLY; FERREIRA, 2002). As câmeras também podem ser adaptadas em bases controláveis pelo usuário (KO, 2001), fazendo com que ela se mova em qualquer direção, para melhor visualização de qualquer parte do experimento, como uso de aproximações e de panoramas.

2.4 ESTUDO SOBRE LABORATÓRIOS REMOTOS

Nesta seção, será apresentado um estudo comparativo sobre o uso de laboratórios remotos no ensino formal, a partir do levantamento de trabalhos sobre o assunto em revistas, universidades e periódicos de ensino e educação no Brasil e no exterior. O intuito é investigar as características dos laboratórios remotos para o ensino e aprendizagem na engenharia elétrica e engenharia de controle e automação. Foram selecionados 12 trabalhos, publicados entre os anos de 2008 e 2015. O título de cada um desses artigos pode ser visualizado no quadro 4, juntamente com seus respectivos autores.

TÍTULO	AUTOR (ES)
Laboratório Remoto de Qualidade de Energia Elétrica	RAPANELLO, R. M.
Labexp – Laboratório de Experimentação Remota em Tempo Real	SANTOS, D. L.
Laboratório Remoto para Ensino de Eficiência Energética em Sistema de Bombeamento de Água	LOUREIRO, I. B.
Remote Laboratories for Education and Research Purposes in Automatic Control Systems	SANTANA, I.; FERRE, M.; IZAGUIRRE, E.; ARACIL, R.; HERNÁNDEZ, L.
Laboratório Remoto de Automação Industrial	BORRACHA, A. M. L.
Remote Laboratory for Robotics and Automation as a tool for Remote Access to Learning Content	DJALIC, V. et al.
A Web-Based Remote Access Laboratory Using SCADA	AYDOGMUS, Z; AYDOGMUS, O.
A Remotely Accessible and Configurable Electronics Laboratory Implementation by Using LabVIEW	AZAKLAR, S.; KORKMAZ, H.
A Remote Laboratory Platform for Electrical Drive Control Using Programmable Logic Controllers.	FERRATER-SIMÓN, C.
A LabVIEW-Based Remote Laboratory Experiments for Control Engineering Education	STEFANOVIC, M.
A Remote Laboratory Experiment for 4-Quadrant Control of a DC Motor	IRMAK, E.
A Remote Control Laboratory Via Internet Using Matlab and Simulink	PUERTO, R.; JIMÉNEZ, L. M.; REINOSO, O.

Quadro 4 - Títulos e autores dos laboratórios em estudo.

Fonte: Autoria própria.

Alguns laboratórios remotos pesquisados para este estudo são descritos com mais detalhes a seguir, são elencados título do projeto, instituição de ensino, autores, ano, ambiente de desenvolvimento (*Softwares*) e resumo do laboratório.

Projeto: Laboratório Remoto de Qualidade de Energia Elétrica

Instituição: Universidade Estadual Paulista – UNESP (Brasil – Ilha Solteira – São Paulo)

Autores: Máximo Rapanello

Ano: 2008

Ambiente: LabVIEW

Resumo: Este trabalho apresenta um Laboratório Remoto de Qualidade de Energia para acionamento via internet, no qual são disponibilizados vários recursos técnicos. O trabalho propõe a montagem de simulações de diversos experimentos, cuja realização é conseguida utilizando-se como ferramenta o *software* LabVIEW para controle dos dispositivos e equipamentos de carga e também programação para controle de acesso via internet pelos usuários. A Figura 1 ilustra a estrutura física do laboratório remoto, permitindo a visualização do fluxo das informações e a forma de controle dos dispositivos instalados.

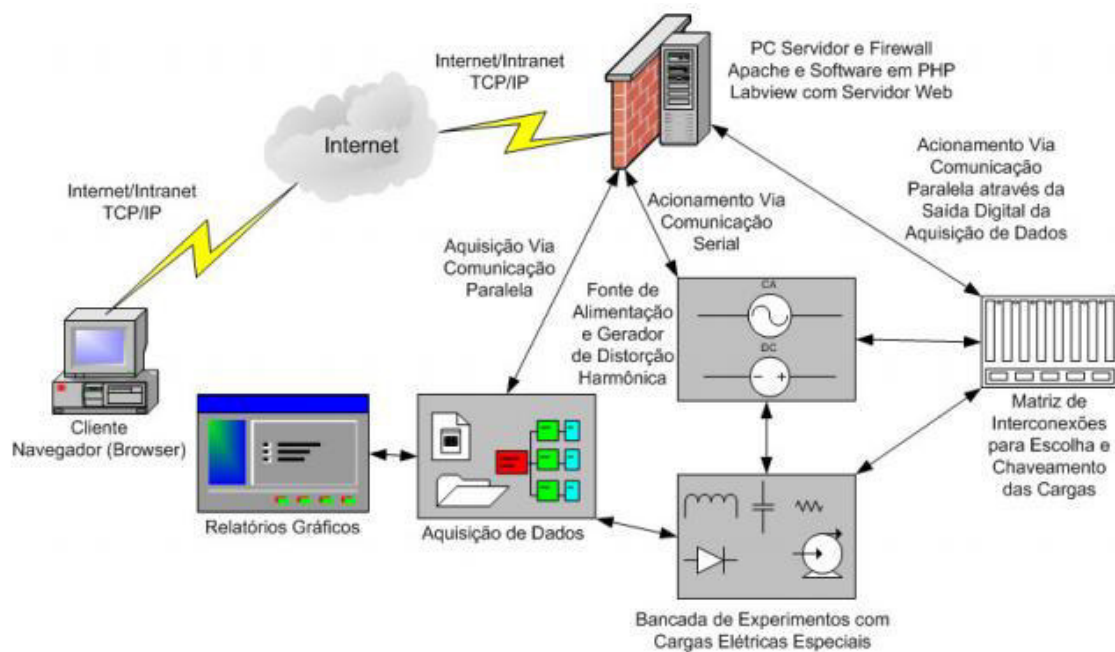


Figura 1 - Visão geral do laboratório remoto de qualidade de energia elétrica.

Fonte: Rapanello (2008).

Projeto: LABEXP - Laboratório de Experimentação Remota em Tempo Real

Instituição: Universidade Federal do Pará – UFP (Brasil – Belém – Pará)

Autores: Diogo Lima Santos

Ano: 2009

Ambiente: Real-Time Application Interface (RTAI)

Resumo: Este trabalho apresenta o processo de desenvolvimento e implementação do Laboratório de Experimentação Remota em Tempo Real (LabExp), que tem

como objetivo funcionar como plataforma auxiliar para o ensino e aprendizagem das disciplinas de sistemas de controle, além de possibilitar a realização de experimentos nos quais os usuários poderão interagir alterando parâmetros e observando o resultado de cada experiência realizada. Neste laboratório estão disponibilizadas três aplicações: uma para envio de seus próprios experimentos; outra para interação com outros alunos através de um fórum e um espaço para o envio de críticas e sugestões. Na Figura 2, pode-se observar a página da web na qual as experiências disponíveis podem ser acessadas.

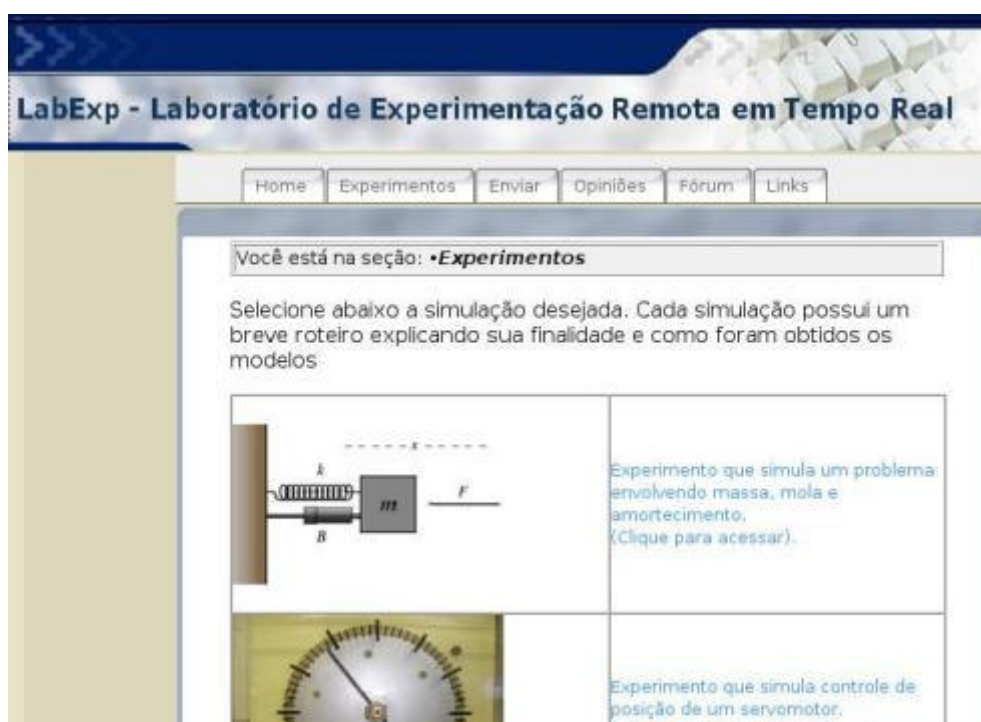


Figura 2 - Experiências disponíveis.

Fonte: Santos (2009)

Projeto: Laboratório Remoto de Automação Industrial (Lab-RAI)

Instituição: Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa (Portugal – Lisboa)

Autores: António Manuel Lira Gomes Borracha

Ano: 2012

Ambiente: PHP, JAVA

Resumo: Este trabalho apresenta o processo de desenvolvimento e de implementação do Laboratório Remoto de Automação Industrial. Em termos práticos o laboratório permite ao utilizador fazer duas experiências diferentes: programação em CLP, para o controle de um simulador de tráfego rodoviário, e um simulador de cargas industriais. A Figura 3 mostra o kit experimental Lab-RAI.



Figura 3 - Kit experimental Lab-RAI.

Fonte: Borracha (2012)

Projeto: Remote Laboratories for Education and Research Purposes in Automatic Control Systems

Instituição: Member IEEE (IEEE Transactions on Industrial Informatics)

Autores: Iván Santana, Manuel Ferre, Eduardo Izaguirre, Rafael Aracil, Luis Hernández

Ano: 2013

Ambiente: PHP, Matlab

Resumo: Este trabalho apresenta o processo e implementação do Laboratório Remoto de Educação e Pesquisa para Sistema de Controle e Automação e tem como objetivo oferecer um serviço flexível em horários com maior e melhor funcionamento dos recursos disponíveis, assim como demonstrar a eficácia de

um laboratório remoto através de um sistema robótico. A Figura 4 apresenta a arquitetura do laboratório remoto de educação e pesquisa.

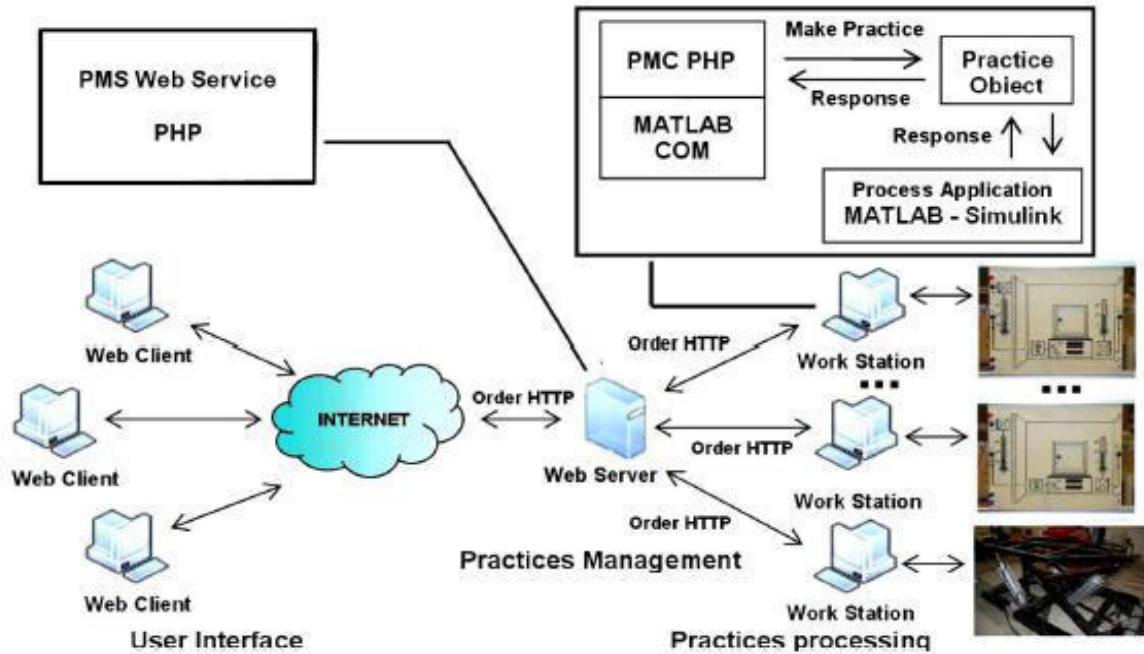


Figura 4 – Arquitetura laboratório remoto.
 Fonte: Santana et al. (2013).

Após a pesquisa e a análise dos laboratórios remotos selecionados, observou-se a frequência com que cada justificativa para o uso de laboratórios remotos aparece nos trabalhos, como mostra a Figura 5.

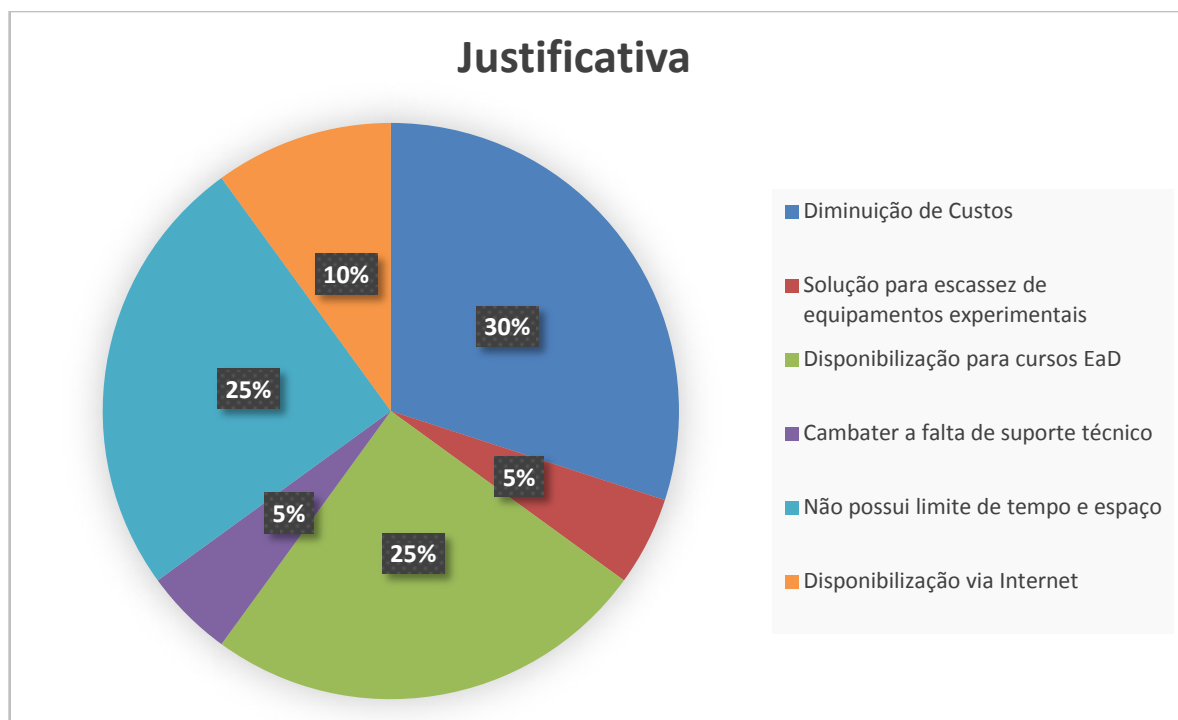


Figura 5 - Gráfico da frequência das justificativas quanto ao uso de laboratórios remotos.
Fonte: Autoria própria.

As justificativas são as seguintes:

- a) Diminuição de custos: a montagem de laboratórios presenciais representa um custo elevado para as instituições, pois são necessárias várias réplicas de cada experimento, enquanto no laboratório remoto isso não ocorre. Além disso, o custo da manutenção e de reposição dos equipamentos experimentais, em laboratórios reais, também é maior devido à quantidade. A experimentação remota também é viável para o caso de experimentos complexos ou muito caros, bastando a aquisição de um único exemplar.
- b) Solução para escassez de equipamentos experimentais: em muitas instituições não existe laboratório ou, quando existe, é bastante escasso. Um laboratório remoto pode ser a solução para o caso dessas instituições.
- c) Disponibilização para cursos de EaD: muitos cursos a distância exigem aulas práticas no currículo e com a experimentação remota é possível realizar as aulas sem que os estudantes tenham que se locomover até a instituição.
- d) Combater a falta de suporte técnico: os laboratórios exigem suporte técnico especializado, tanto para a montagem e manutenção dos experimentos, quanto para auxiliar os estudantes nas práticas. Nem sempre é simples encontrar esse

suporte técnico em quantidade suficiente para os laboratórios presenciais, porém, nos laboratórios remotos, a quantidade necessária é menor.

- e) Não possui limite de tempo e espaço: em um laboratório remoto não é necessário marcar horário para executar as práticas e o aluno pode acessar de qualquer lugar que tenha um computador com acesso à internet, utilizando o tempo que for necessário.
- f) Disponibilização via internet: os laboratórios remotos podem ser disponibilizados via internet e não exigem a presença de alunos e professores no local do experimento.

Pode-se perceber que os autores consideram como justificativas mais importantes para a construção de laboratórios remotos: a diminuição de custos (30%), o fato de um laboratório remoto ter potencial para disponibilização em cursos em EaD (25%) e não possuir limite de tempo e espaço para seu uso (25%).

Uma diferença entre os laboratórios pesquisados nesta etapa da pesquisa são as ferramentas utilizadas para o desenvolvimento da arquitetura, alguns utilizam *softwares* comerciais como LabVIEW, outros utilizam ferramentas gratuitas. Um fator negativo, apresentado por alguns dos autores, é que muitos dos equipamentos não disponibilizam de forma remota todos os comandos que podem ser acessados localmente, como a configuração do equipamento.

Outra limitação encontrada em laboratórios remotos é a velocidade na transmissão de dados, já que muitos deles dependem de imagens capturadas ao vivo por meio de câmeras de vídeo. A transmissão desse tipo de dado requer uma largura de banda da rede maior se comparada com a transmissão de dados do tipo texto. Além disso, o fato de as imagens serem transmitidas em tempo real leva a atrasos, que ocorrem devido ao aumento do tráfego na rede.

Este levantamento possibilitou uma visão mais abrangente do assunto em questão, permitindo evitar alguns erros já enfrentados por outros autores. Também o modo como cada tecnologia foi empregada no desenvolvimento ajudou a definir quais os melhores caminhos para desenvolvimento do Laboratório Remoto de Automação para Aprendizagem de Conceitos de Redes de Petri.

2.5 CONCLUSÃO

O capítulo apresentou conceitos sobre laboratório remoto, que é um sistema constituído de uma planta física, composta de equipamentos reais, operados a distância por meio de uma interface gráfica, utilizando a internet como meio de comunicação.

Também foi apresentado um estudo comparativo entre 12 laboratórios remotos, selecionados em revistas e periódicos na área da Engenharia Elétrica e Controle e Automação, a fim de auxiliar na implementação do laboratório remoto em questão. Os resultados das avaliações mostraram que os laboratórios remotos são equiparáveis aos laboratórios presenciais em termos de eficácia em relação à aprendizagem.

3 REPRESENTAÇÃO DE SISTEMAS A EVENTOS DISCRETOS POR MEIO DE REDES DE PETRI

3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, será apresentado um estudo sobre as definições de redes de Petri, descrevendo suas propriedades matemáticas fundamentais para compreensão da dinâmica da rede. Inicialmente, serão descritos alguns conceitos sobre sistemas a eventos discretos.

3.2 SISTEMAS A EVENTOS DISCRETOS

Sistemas a eventos discretos (SEDs) são sistemas dinâmicos em que o espaço de estados é discreto, ou seja, as variáveis do sistema podem assumir valores pré-estabelecidos pertencentes a um conjunto discreto, o comportamento das variáveis independe do tempo e é dirigido por eventos. O termo evento é empregado para descrever a ocorrência, abrupta e sem duração no tempo, de um fenômeno no sistema em estudo ou no ambiente no qual o mesmo está inserido e que pode afetar o comportamento desse sistema. A cada ocorrência de um evento, o sistema pode assumir um novo comportamento ou executar uma nova função, ou seja, o sistema pode assumir um novo estado. Assume-se que a cada instante de tempo só pode ocorrer um único evento.

De forma geral, para um SED, são válidas as seguintes observações:

- a) A ocorrência de eventos é assíncrona no tempo;
- b) O estado do sistema permanece imutável até que ocorra um evento;
- c) Para um dado estado do sistema, a ocorrência de um determinado evento não implica necessariamente a mudança de estado.

No contexto dos sistemas a eventos discretos, não existe um formalismo matemático único que seja satisfatório para a consideração simultânea de aspectos presentes em todas as classes de problemas que se podem formular para os SEDs. A obra *Introduction to Discrete Event Systems* (CASSANDRAS; LAFORTUNE, 2008) apresenta uma introdução aos principais formalismos matemáticos atualmente empregados no estudo de SEDs, dentre os quais citam-se: linguagens formais; controle supervisorio; redes de Petri; álgebra de dióides; cadeias de Markov e teoria das filas.

3.3 REDES DE PETRI

Rede de Petri é um formalismo dos sistemas dinâmicos a eventos discretos criado por Carl Adam Petri. Foi desenvolvido nos anos 60 e 70 e se tornou reconhecido como uma das ferramentas para descrição e análise da sincronização, comunicação e fonte de compartilhamento entre processos concorrentes.

Redes de Petri são compostas por dois tipos de nós, denominados transições e lugares. Os lugares são representados por círculos e estão associados a condições que devem ser satisfeitas para que as transições possam ocorrer, enquanto que as transições têm uma barra como representação e estão normalmente associadas a eventos. A conexão desses dois nós é feita por arcos, que podem partir de um lugar para uma transição ou de uma transição para um lugar. A Figura 6 apresenta os dois tipos de nós encontrados em uma rede de Petri e os arcos que os conectam, (a) representa arco de um lugar para uma transição e (b) arco de uma transição para um lugar.

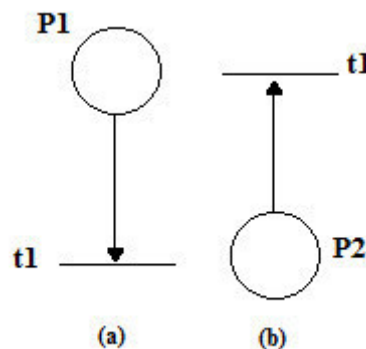


Figura 6 - Representação de lugar (círculo), transição (barra) e arco (seta).
 Fonte: Adaptado de Silvestre (2010)

Definição 1. A estrutura de Petri, ou grafo de Petri, é definida como um grafo bipartido ponderado (P, T, A, ω) em que P é o conjunto finito de lugares, T é o conjunto finito de transições, $A \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ é o conjunto de arcos que conecta lugares a transições e transições a lugares, enquanto $\omega: (P \times T) \cup (T \times P) \rightarrow \mathbb{N}$ é a função de ponderação, em que $\omega(p_i, t_j) = 0$ e $\omega(t_j, p_i) = 0$ se e somente se $(p_i, t_j) \notin A$ ou $(t_j, p_i) \notin A$ respectivamente (CASSANDRAS; LAFORTUNE, 2008).

Em um grafo de Petri, múltiplos arcos podem conectar dois nós, ou, de forma equivalente, pode-se assinalar um peso para cada arco, representando assim o número total de arcos associados ao arco ponderado. Nesse caso, a estrutura recebe o nome de multigrafo.

Ainda, supõe-se que o grafo de Petri definido por (P, T, A, ω) não tem lugares ou transições isoladas. Representa-se o conjunto de lugares por $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ e o conjunto de transições por $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$. Define-se o conjunto de lugares de entrada de uma transição t_j como $I(t_j) = \{p_i \in P: (p_i, t_j) \in A\}$ e o conjunto de lugares de saída de uma transição t_j como $O(t_j) = \{p_i \in P: (t_j, p_i) \in A\}$.

Definição 2. Uma rede de Petri marcada é definida como uma quintupla $N = (P, T, A, \omega, x_o)$, em que (P, T, A, ω, x_o) é um grafo de Petri, e x_o é a marcação inicial do conjunto de lugares, definido como $x = [x(p_1)x(p_2) \dots x(p_n)]$, sendo n o número de lugares da rede de Petri.

Para ilustrar a modelagem de um sistema utilizando redes de Petri, será apresentado o exemplo de sistema tipo batelada tratado em CARDOSO e VALLETI (1997).

Um sistema tipo batelada (*batch*) pode produzir dois produtos (P_{r1} e P_{r2}), utilizando dois reatores em modo concorrente, como representado na Figura 7. O produto P_{r1} pode ser produzido pelo reator R_1 ou pelo reator R_2 , devendo ser, previamente, armazenado respectivamente no *buffer* B_1 ou B_2 . Já o produto P_2 pode ser produzido apenas pelo reator R_2 , onde é diretamente carregado. O comportamento do sistema é repetitivo: uma vez o produto pronto, cada reator é liberado e pode recomeçar uma nova atividade. O reator R_2 , embora possa tratar dois tipos de produtos, o faz um de cada vez. O modelo do comportamento do sistema é dado pela rede de Petri da Figura 8. Os reatores R_1 e R_2 , representados pelos lugares p_8 e p_9 , respectivamente, são considerados como recursos, sendo R_2 partilhado entre dois lotes de produto P_{r1} e P_{r2} .

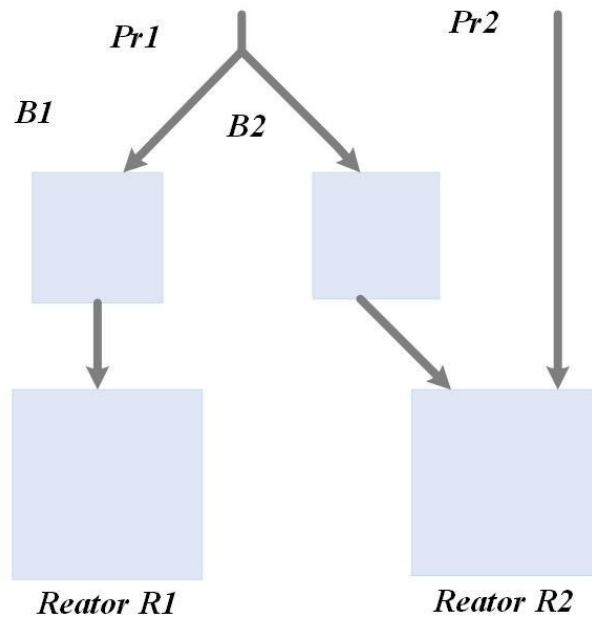


Figura 7 - Sistema batelada.

Fonte: Adaptado Cardoso e Valletti (1997).

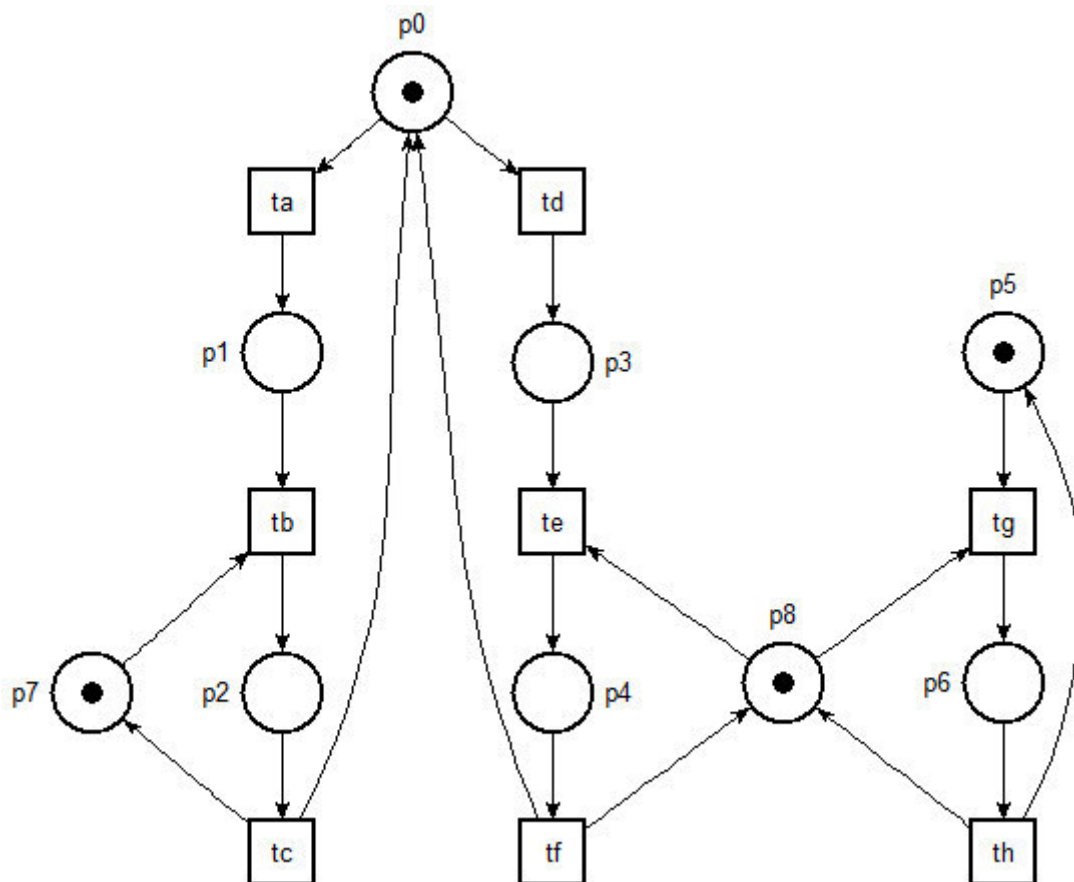


Figura 8 - Modelo rede de Petri.

Fonte: Adaptado de Cardoso e Valletti (1997).

3.4 REDES DE PETRI INTERPRETADAS

Rede de Petri Interpretadas são uma extensão das redes de Petri ordinárias que possuem sincronização com eventos externos e/ou temporização. Essas redes possuem essa denominação devido às diversas aplicações ou interpretações que podem ter, dependendo da área em que se pretende aplicá-las e da sua adaptação. É importante ressaltar a existência de outras redes interpretadas com o mesmo objetivo, propostas por outros autores como em: David e Alla (2010), Uzam, Jones e Ajlouni (1996), Zhou e Venkatesh (1999) e Jiménez, Lopés e Ramíres(2001).

3.4.1 Rede de Petri Interpretada de David e Alla (2010)

A rede de Petri Interpretada para controle proposta por David e Alla (2010) recebe informações do meio externo ou do sistema controlado, sendo essas informações formadas por variáveis Booleanas C_j^e , que representam condições do meio externo, e E_j , eventos associados a mudanças no nível lógico dos sinais enviados pelos sensores do meio externo. Essa rede também envia informações para o meio, ações responsáveis pela execução de tarefas. Essas informações de saída podem ser de nível (A_i), saídas Booleanas dependendo da marcação (B_i) e variáveis que resultam de um cálculo (V_k) (SILVESTRE, 2010). A Figura 9 representa o processamento de dados e as variáveis de entrada e saída comentadas anteriormente.

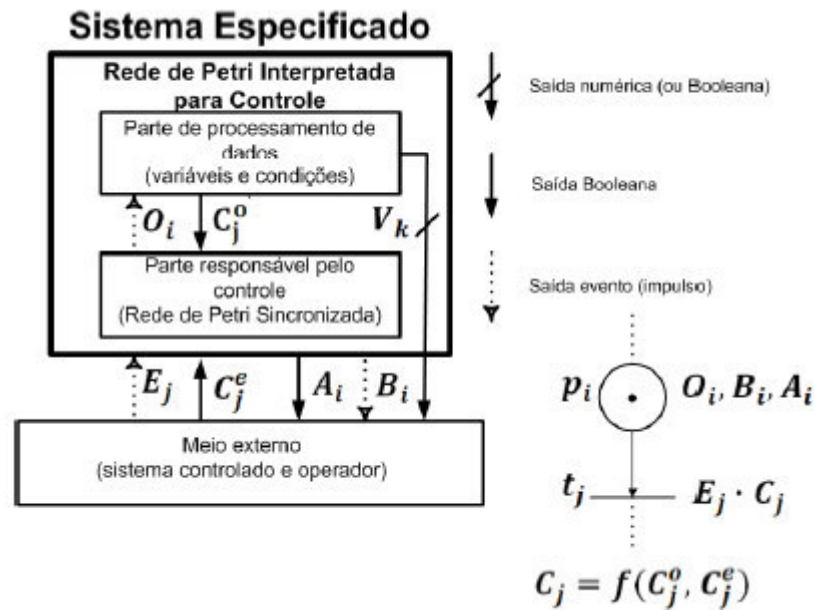


Figura 9 - Processamento de dados da rede de Petri interpretada para controle.
Fonte: Silvestre (2010).

Essa rede interpretada para controle é sincronizada por eventos externos, é segura, é determinística e possui uma parte responsável pelo processamento de dados, cujo estado é definido por um conjunto de variáveis $V = \{V_1, V_2, \dots\}$. O estado é modificado pelo operador O_i , associado aos lugares da rede de Petri Interpretada para controle, e determina o valor de C_j^0 , a parte responsável pelo controle que recebe informações da Booleana C_j^e do ambiente externo e envia ações de nível A_i e de impulso B_i , associadas aos lugares, para o meio externo.

Definição 3. Uma rede de Petri Interpretada para controle é uma n-úpla $(N, C, E, O, O_I, E_n, I_n, P_r, D)$, em que $N = (P, T, A, \omega, x_0)$ é uma rede de Petri marcada. O conjunto de transições é $T = T_0 \cup T_D$, no qual T_0 é o conjunto de transições sem atraso associado e T_D é o conjunto de transições com atraso associado; $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ é o conjunto de condições associadas ao conjunto de transições T ; $E = \{E_1, E_2, \dots, E_m\}$ é o conjunto de eventos também associados ao conjunto de transições T ; O e O_I são, respectivamente, o conjunto de ações de nível e impulsivas associadas ao conjunto de lugares P .

Uma RdPI é dividida em duas partes, sendo elas: controle e dados. O controle descreve todas as evoluções possíveis do processo, relacionadas aos eventos. Os dados descrevem as estruturas de dados internas ao sistema e as informações recebidas do mundo

externo. Os elementos que constituem os dados de uma rede de Petri Interpretada são as condições de ações (SILVA, 2013).

Resumidamente, os passos para modelar um sistema, utilizando RdPI, são (CARDOSO; VALETTE, 1997):

- a) Encontrar a estrutura da rede de Petri que representa as atividades concorrentes, paralelas e sequenciais e descrever os eventos associados ao meio externo.
- b) Analisar a rede gerada, verificando as propriedades. Caso necessário, corrigir os eventuais problemas.
- c) Simular a rede interpretada (controle e dados) para extrair o comportamento do sistema.

Para ilustrar a modelagem de um sistema utilizando redes de Petri interpretadas, será apresentado o exemplo tratado em SOARES (1994), da automação de uma estação de coleta de petróleo.

A função de uma estação coletora é receber o petróleo bruto proveniente de poços localizados em sua redondeza, testar a vazão de cada um desses poços e transferir o volume produzido, através de bombas de transferências, por oleodutos que conduzem a estações de armazenamento de maior capacidade.

O sistema representado na Figura 10 possui um tanque de armazenamento (TQ) que recebe o petróleo continuamente através de uma tubulação ligada aos poços produtores. Quando o óleo atinge um determinado nível no tanque (nível alto), aciona-se uma moto-bomba (B_1) que faz a transferência do óleo para uma estação de coleta central. Uma segunda moto-bomba *stand by* (B_2) deve ser acionada, caso a primeira não seja ligada dentro de um intervalo de 2 segundos. Quando o nível do óleo no tanque cair até um determinado ponto (nível baixo), deve-se desligar a moto-bomba para evitar que a mesma corra o risco de sugar em vazio (o que poderia danificá-la). Também deve ocorrer o desligamento da bomba quando houver um aumento excessivo de pressão na descarga da mesma. A sinalização dos níveis alto e baixo é feita através de chaves de nível localizadas nessas posições: LSH (nível alto) e LSL (nível baixo); e a sinalização da pressão alta na descarga da bomba é feita através de pressostato PSH.

Para automatizar este sistema é necessário que haja:

- a) Intertravamento das chaves de nível e do pressostato com as bombas;
- b) Medição do volume produzido através da contagem dos pulsos elétricos enviados por um medidor de vazão;

c) Aquisição e envio dos dados para uma estação central, onde é feito o controle supervisorio de várias estações.

A Figura 11 representa o modelo do sistema de controle da planta.

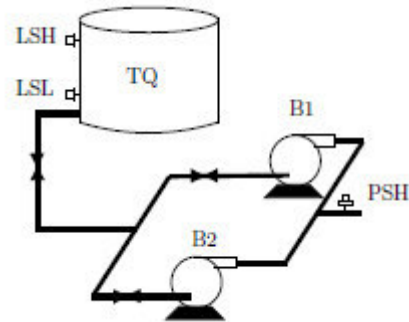


Figura 10 - Estação de coleta de petróleo.

Fonte: Soares (1994).

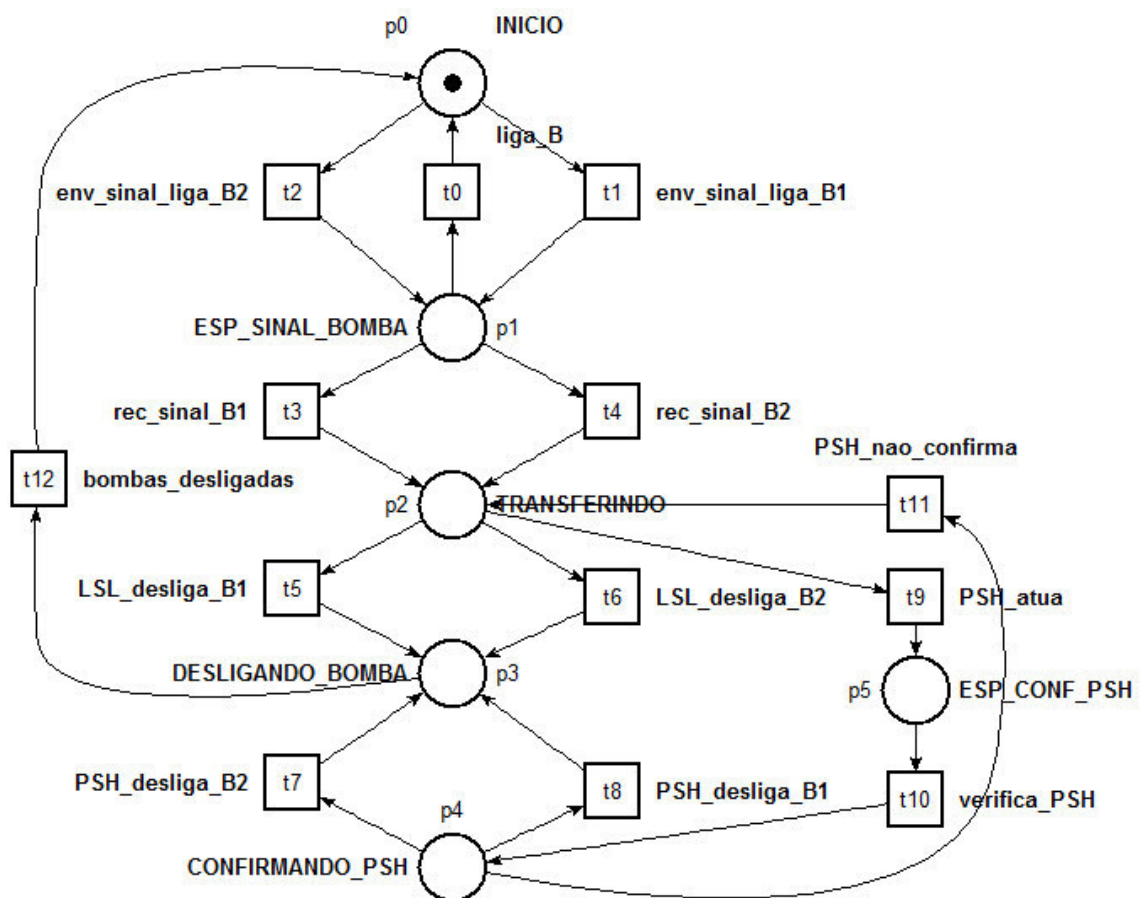


Figura 11 - Modelo do controle.

Fonte: Adaptado Soares (1994).

3.5 GRAFCET

O Grafcet é uma linguagem gráfica de modelação para controle de sistemas a eventos discretos. Todos os conceitos base adquiridos com a introdução desta linguagem são essenciais à aprendizagem de qualquer engenheiro de automação. Uma vez que, com a construção do Grafcet através da especificação do sistema, é possível construir um modelo destinado a realizar o controle automático de um processo.

De forma a homogeneizar os diferentes métodos de modelação de sistemas a eventos discretos existentes através de Grafcets proprietários foi definida, em 1988, a norma IEC 60848, que defini todos os símbolos e regras de representação da linguagem, bem como estes devem ser interpretados.

O Grafcet é utilizado principalmente na solução de problemas cujas ações de comando são sequenciais ou de tempo dependente. Problemas nos quais a solução, utilizando representação Ladder, poderia ser confusa e até, muitas vezes, inviável (DAVID, 1995).

A representação gráfica do Grafcet consiste em passos, que são representados por quadrados, e transições representadas por barras horizontais. Os passos e as transições são interligados por arcos, a evolução do modelo é interpretada de cima para baixo. O passo inicial, isto é, o passo que está ativo quando o sistema é iniciado, é representado por um quadrado duplo. O Grafcet possibilita várias sequências em uma única representação, tais como, configurações de sequências alternativas, paralelas e saltos. A Figura 12 apresenta um exemplo de modelo comportamental em Grafcet.

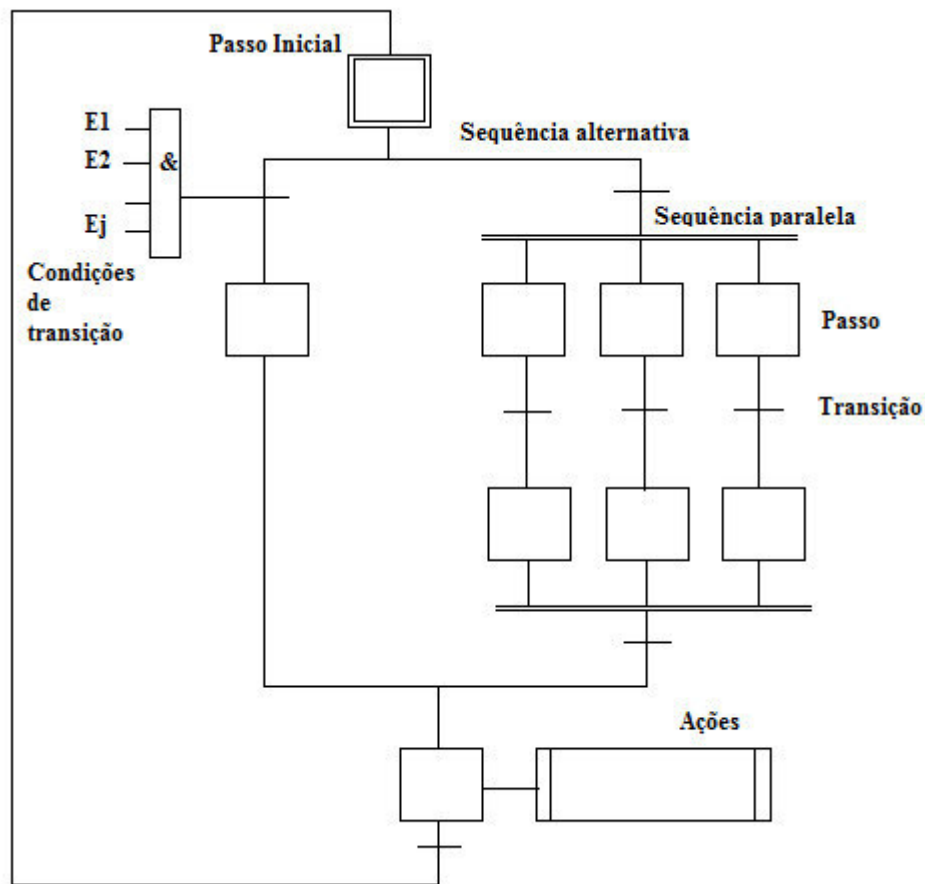


Figura 12 - Exemplo de estrutura de um Grafcet.
Fonte: Adaptado de Johnsson (1999).

A seguir são definidos os elementos do Grafcet (BARACOS, 1992):

- a) Passo: um passo pode estar ativo ou inativo, os passos ativos definem o estado do sistema. Para cada estado podem estar associadas uma ou mais ações e essas ações são executadas quando o passo é ativado.
- b) Transição: as transições são utilizadas para conectar os passos e cada transição tem suas condições de disparo. As transições determinam a possibilidade de evolução de um passo ativo para o outro. Se uma transição está habilitada e as suas condições forem verdadeiras, ela irá disparar. O disparo de uma transição promove a desativação dos passos que a precedem e a ativação dos passos que as sucedem.
- c) Condição de transição: em cada transição, estão associadas condições de disparo da transição, ou seja, para a transição disparar, as condições devem estar satisfeitas e tais condições podem ser representadas por uma expressão ou variável lógica.

- d) Ações: são as ações que modificam o ambiente do sistema, produzindo algum tipo de trabalho. As ações são representadas num retângulo contendo três campos: o primeiro indica alguma propriedade do sinal que gera a ação, no segundo campo é designada a ação e no terceiro é indicado o elemento de sinal que confirma a realização da ação.

A Figura 13 ilustra o exemplo de um Grafcet de um sistema de acionamento de cilindros pneumáticos. Com os cilindros 1 e 2 recuados, o acionamento do botão *B* avança os dois cilindros. Acionando-se os sensores de final de curso dos cilindros 1 e 2, o cilindro 1 espera 3 segundos antes de recuar e o cilindro 2 espera 5 segundos antes de recuar. Com os sensores de recuo acionados volta-se ao início, esperando um novo ciclo.

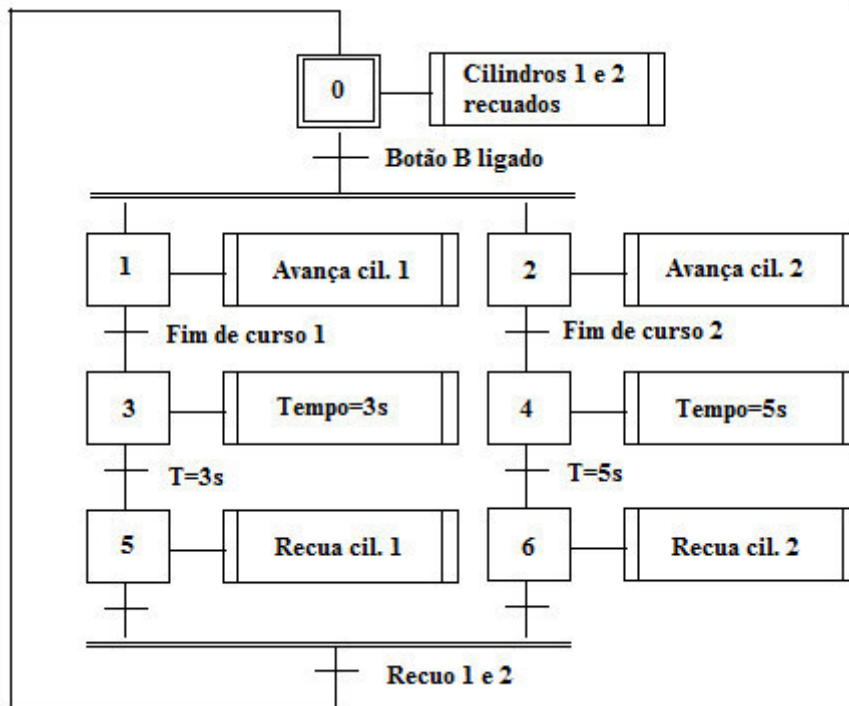


Figura 13 – Grafcet acionamento de cilindros.

Fonte: Autoria própria.

3.6 CONCLUSÃO

Neste capítulo, foram apresentados alguns conceitos básicos sobre SEDs, redes de Petri e Grafcet, ressaltando a modelagem e as definições matemáticas presentes no formalismo. Também se apresentou algumas propriedades das redes de Petri Interpretadas relacionadas à forma de descrever o processo.

4 IMPLEMENTAÇÃO DAS RDP EM CLPS

4.1 INTRODUÇÃO

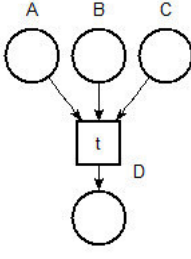

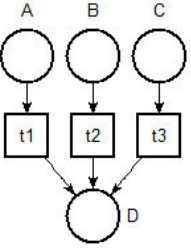
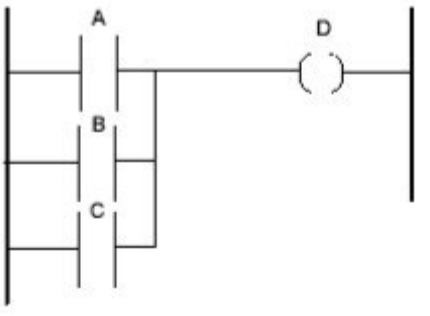
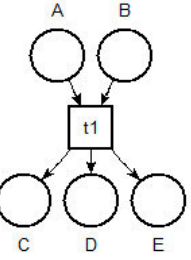
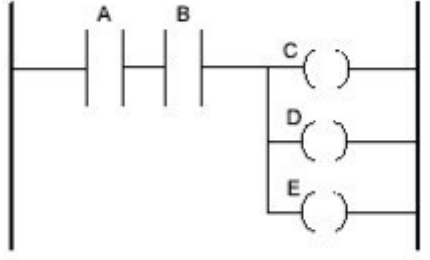
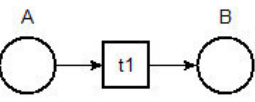
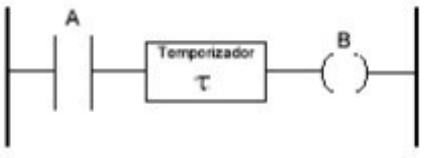
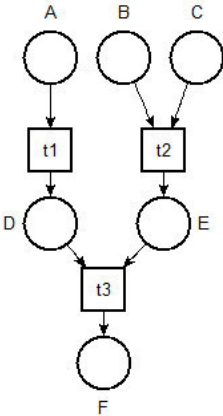
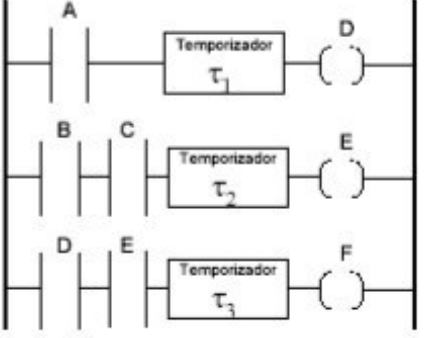
Neste capítulo, serão apresentados dois métodos de conversão das Rdp para as linguagens de programação de CLP. O primeiro converte Rdp para Ladder e o segundo de Rdp para Grafcet. Ao final do capítulo, há uma breve discussão sobre a aplicação dos métodos apresentados.

4.2 IMPLEMENTAÇÃO DE RDP PARA LADDER

As linguagens utilizadas em controladores lógicos programáveis variam basicamente entre as cinco linguagens definidas pela IEC 61131-3 (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2007), sendo elas a Linguagem Ladder, Diagrama de Blocos Funcionais, Gráfico Sequencial de Funções (SFC – *Sequential Flow Chart*) e ainda linguagens textuais como Lista de Instruções e Texto Estruturado.

O diagrama Ladder é uma linguagem de programação gráfica, derivada da representação do diagrama de circuitos de controladores a relé diretamente conectados. Esse diagrama é caracterizado por conter linhas, estas estão ligadas através de caminhos de corrente com elementos comutadores (contatos normalmente abertos e contatos normalmente fechados) e bobinas.

Devido ao grande número de aplicações industriais que utilizam como equipamento de controle os CLPs e a grande aceitação da linguagem de diagrama Ladder para especificações das rotinas de controle, surgiram técnicas de implementação das Rdp diretamente nesta linguagem (SILVA, 2013). Os métodos atuais não utilizam diretamente da equação de estado de uma rede de Petri ou de sua matriz de incidência. Nesses métodos, cada sequência representa uma transição, que possui como condições para disparo seus lugares de entrada e seu evento associado. O quadro 5 mostra as técnicas de tradução direta dos elementos contidos na Rdp para estruturas específicas descritas em Ladder, proposta por Zhou e Venkatesh (1999).

ESTRUTURA LÓGICA	REDE DE PETRI	DIAGRAMA LADDER
<p>Lógica AND (E)</p> <p>Se $A=1$ e $B=1$ e $C=1$ então $D=1$</p>		
<p>Lógica OR (OU)</p> <p>Se $A=1$ ou $B=1$ ou $C=1$ então $D=1$</p>		
<p>Concorrência</p> <p>Se $A=1$ e $B=1$ então $C=1$ e $D=1$ e $E=1$</p>		
<p>Temporização</p> <p>Se $A=1$ então após o atraso de tempo τ $B=1$</p>		
<p>Sincronização</p> <p>Se $A=1$ então após atraso $D=1$.</p> <p>Se $B=1$ e $C=1$ então após atraso $E=1$.</p> <p>Se $D=1$ e $E=1$ então após atraso $F=1$.</p>		

Quadro 5 - Conversão RdP para Ladder.

Fonte: Adaptado de Zhou e Venkatesh (1999).

Com as estruturas de conversão mostradas no quadro 5, é possível implementar uma RdP em um CLP, sendo que, em alguns casos, o diagrama de Ladder pode se tornar extenso e ilegível devido ao tamanho da rede.

4.3 IMPLEMENTAÇÃO DE RDP PARA GRAFCET

Utilizando as definições da RdPI e a proposta de construção do Grafcet, podem ser estabelecidas, segundo Silva (2013), etapas de tradução de redes de Petri para Grafcet, sendo elas:

- a) Criar, para cada elemento do sistema, uma RdPI que associa as condições e ações essenciais para a evolução do processo;
- b) Agregar todas as RdPI criadas com os elementos auxiliares (temporizadores e contadores) e organizar as condições e ações de cada transição em uma tabela de dados;
- c) Analisar as propriedades da RdPI geral e simular a rede em conjunto com a tabela de dados, buscando comprovar a correta evolução do processo;
- d) Criar módulos com os elementos que possuem condições e ações compartilhadas;
- e) Converter cada módulo para Grafcet, considerando as condições como receptividade da transição e as ações como etapas;
- f) Marcar as etapas iniciais de cada Grafcet com o estado inicial de cada elemento;
- g) Implementar no CLP todos os Grafcets gerados, que serão executados simultaneamente.

Na Figura 14, é apresentado um esquemático do método de conversão de RdPI para Grafcet. A metodologia proporciona a criação de módulos independentes de controle que realizam ações específicas para cada elemento que compõem o sistema.

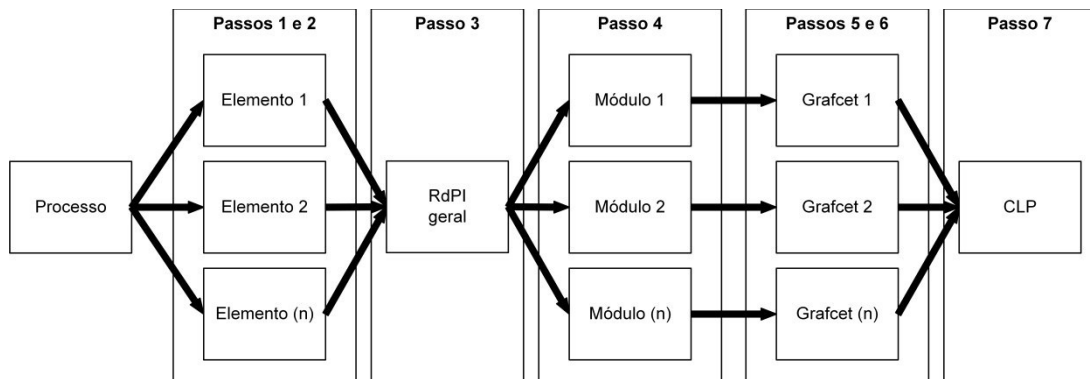


Figura 14 - Conversão RdP para Grafcet.

Fonte: Adaptado de Silva (2013).

4.4 CONCLUSÃO

Comercialmente, Grafcet e Ladder são as duas linguagens de maior representatividade no universo de linguagens para CLP. O diagrama Ladder corresponde a uma representação lógica baseada no diagrama de circuitos de relés, o que explica a preferência por esse tipo de linguagem, pela maioria dos programadores. O Grafcet é uma linguagem gráfica derivada de redes de Petri. O seu desenvolvimento é motivado pelo interesse em ferramentas gráficas que representem de forma explícita as funções para descrever processos sequenciais para aplicações industriais.

O capítulo apresentou métodos para a implementação das RdP em equipamentos de controle. O primeiro propõe a conversão das estruturas contidas no modelo para o diagrama Ladder, podendo gerar uma linguagem extensa e complexa. A segunda metodologia descreve a conversão em Grafcet por meio de sete etapas, proporcionando a criação de módulos independentes de controle. O Grafcet realiza ações específicas para cada elemento que compõe o sistema, gerando códigos resumidos e mais legíveis quando comparados à primeira metodologia.

5 PROPOSTA E DESENVOLVIMENTO DE UM LABORATÓRIO REMOTO DE AUTOMAÇÃO

5.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, é descrita a implementação do laboratório remoto de automação para aprendizagem de conceitos de redes de Petri. Inicialmente são expostos os requisitos pedagógicos considerados para a escolha do tema e das experiências que o laboratório remoto pretende atender. Em seguida, apresentam-se os requisitos técnicos, a arquitetura utilizada na montagem e a dinâmica de uso do laboratório na *web*.

5.2 REQUISITOS PEDAGÓGICOS PARA APRENDIZAGEM

Com base na análise do estado da arte e nos objetivos descritos neste trabalho, propõe-se um sistema de ensino e aprendizagem para controle e automação, o qual incorpora os seguintes conceitos e características:

- a) Execução dos experimentos em tempo real;
- b) Acesso compartilhado a equipamentos de custo alto, dispensando a aquisição por cada instituição ou laboratório;
- c) Flexibilidade de horários para execução dos experimentos, otimizando o tempo de estudo dos alunos e a utilização dos equipamentos;
- d) Ambiente computacional para aprendizagem;
- e) Flexibilidade de uso de componentes reais e simulados;
- f) Ferramenta tutorial para auxílio na realização de experimentos.

O laboratório remoto é um ambiente de aprendizagem, cujo propósito é disponibilizar atividades que promovam uma melhor interação entre alunos e sistemas de automação. As redes de Petri Interpretadas para controle fornecem uma maneira simples e eficiente de descrever a lógica de controle de sistemas de automação. Portanto, o laboratório remoto proporciona um elo entre modelos discretos e a elaboração de programas de controle de automação, em linguagem de controladores lógicos programáveis.

O laboratório remoto disponibiliza experiências a partir de plantas industriais virtuais que interagem diretamente com um CLP. O usuário remoto modela a planta industrial em RdPI e, por meio de uma conversão para linguagem de programação em CLP, controla o sistema virtual. Assim, o usuário tem contato direto com práticas de controle, auxiliando no aprendizado de conceitos de redes de Petri.

O laboratório possibilita que qualquer usuário conectado à internet possa enviar e monitorar comandos remotamente de forma interativa e rápida.

5.3 REQUISITOS TÉCNICOS

Este trabalho tem por finalidade implementar um laboratório remoto de automação para viabilizar práticas de aprendizagem de redes de Petri. O laboratório remoto disponibiliza experiências a partir de plantas industriais virtuais e as implementa utilizando um controlador lógico programável (CLP) que é programado em Grafset de acordo com tarefas pré-definidas. A lógica de controle das plantas industriais é modelada em RdPI e posteriormente é gerado um programa em Grafset.

O programa utilizado para simular as plantas industriais é o Interactive Training System for Programmable Logic Controller (ITS PLC)(Apêndice D), que dispõe de cinco sistemas, são eles: *Sorting* – Transportar caixas desde o tapete alimentador até os elevadores, separando-as por altura; *Batching* – Misturar três tintas de cores primárias (vermelho, verde e azul) de forma a obter uma cor desejada; Paletizador – Paletizar caixas em várias camadas; Pick and Place – Colocar peças dentro de caixas com um manipulador de três eixos e Armazém Automático – Transportar, colocar e retirar caixas de estante.

O programa oferece uma interface simples para o usuário, possibilita a mudança do ponto de vista e a interação com componentes do sistema. Seus detalhes gráficos aumentam a sensação de realidade.

Para realizar o controle das plantas industriais utiliza-se um controlador lógico programável (CLP) modelo S7-300 da marca Siemens. O CLP está instalado em um kit didático que carrega as características (em termos de modelos) de máquinas de grande porte, possibilitando ao aluno ensaios compatíveis e similares aos feitos nas indústrias, concessionárias de energia elétrica, laboratórios de ensaios, etc. O CLP possui sistema versátil, que possibilita simulações com sinais vindos dos receptores para as entradas digitais

e analógicas e envio dos sinais para as saídas discretas e analógicas para os atuadores dos sistemas industriais (Apêndice A).

Os sensores e atuadores instalados nas plantas industriais, através de uma interface de condicionamento de sinal são reconhecidos pelo CLP, repassam as informações sobre o sistema e realizam mudanças nos estados dos elementos que compõem, garantindo a interação direta do CLP com o ambiente controlado.

O laboratório remoto disponibiliza ao usuário um ambiente interativo de aprendizagem, através de uma interface *web*. A interface permite ao usuário modelar as plantas industriais virtuais proposta em RdPI e converter o modelo para programação em CLP, Grafcet, assim os sensores e atuadores podem ser controlados e visualizados remotamente pelo usuário. A seguir apresenta-se uma descrição dos três principais requisitos técnicos do laboratório remoto:

a) Modelar a planta industrial virtual proposita por meio de RdPI.

O primeiro objetivo do uso do laboratório remoto é analisar a planta industrial virtual e modelar por meio de RdPI, utilizando o *software* Time Petri Net Analyzer (Apêndice E).

b) Programar o sistema em Grafcet.

Depois de analisar e modelar o sistema em redes de Petri Interpretadas, o segundo passo é converter o modelo para Grafcet e executar as etapas de programação do CLP com o *software* Simatic Step 7 (Apêndice C).

c) Executar e visualizar o sistema no ITS PLC.

Após a programação, o objetivo é fazer *download* no CLP e visualizar a mudança de estado dos elementos que compõem o sistema no *software* ITS PLC.

5.4 ARQUITETURA PROPOSTA

Para que seja possível executar as atividades, é necessário um arranjo adequado dos equipamentos e a disponibilização da interface de *software* que possibilita a interação usuário-máquina. A plataforma proposta apresenta um computador servidor, no qual se localiza toda interface *web*, acessível ao usuário por meio da internet, e um computador cliente, que hospeda o aplicativo ITS PLC e troca informações com o Servidor Web. O CLP da aplicação

executa o controle da planta, enquanto o CLP Supervisório apenas monitora os estados e fornece sinais de entrada, provenientes do arranjo de “botoeira virtual” da página *web*.

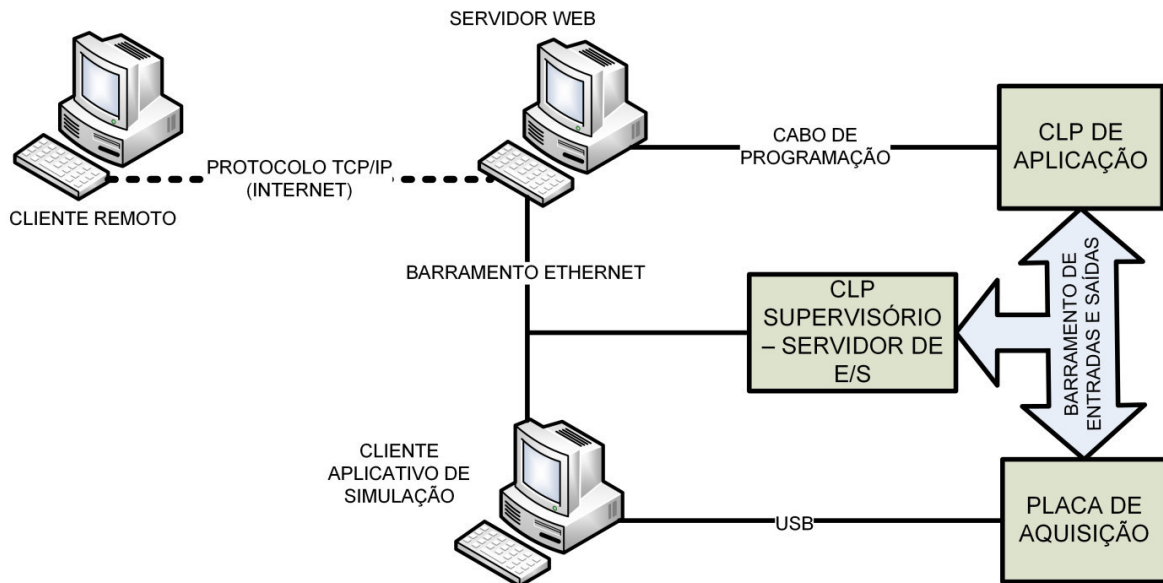


Figura 15 - Arquitetura laboratório remoto de automação.
Fonte: Autoria própria.

A Figura 15 apresenta a arquitetura do laboratório remoto de automação. Os elementos que compõem o sistema e suas tecnologias de implementação são detalhados a seguir. Os elementos de *hardware* são:

- a) 1 Controlador Lógico Programável (CLP) Siemens S7-300 (Apêndice A) com CPU 314C 2DP que dispõe de programação por Grafset;
- b) 1 CLP Altus Série Ponto com UCP PO-3247, módulo Ethernet PO-7094 e barramentos de entrada e saída digitais;
- c) 1 Placa de Aquisição de Dados (DAQ) Advantech USB 4750;
- d) 1 *Hardkey* do programa ITS PLC *Professional Edition*;
- e) 1 *Hardkey* do programa Siemens Step7;
- f) 2 computadores com sistema operacional Windows XP.

Em conjunto com os elementos de *hardware* mencionados, há necessidade dos elementos de *software*, ou seja, programas capazes de configurar e executar as ações desejadas no contexto do laboratório remoto. São estes:

- a) Mastertool XE MT8000 provido pela Altus para programação da UCP PO-3247;
- b) Step7 provido pela Siemens para programação do CLP S7-300;
- c) Aplicativo TightVNC;

- d) WampServer5 versão 1.7.4;
- e) Time Petri Net Analyzer (Apêndice E);
- f) ITS PLC Professional Edition versão 1.2.3;
- g) *Driver* USB para a DAQ Advantech USB 4750 provido pela fabricante;
- h) *Driver* PC to USB provido pela Siemens para funcionamento do aplicativo Step7.

Servidor Web: o computador denominado Servidor Web é responsável por gerenciar a comunicação entre *hardwares* e alojar o servidor WampServer do laboratório remoto, o qual é responsável por disponibilizar uma interface gráfica ao usuário remoto, atuar sobre os comandos do laboratório na web. O WampServer é uma aplicação que conjuga várias tecnologias e fornece distintas ferramentas que facilitam a criação de sites dinâmicos.

O *software* para programação em CLP, o Simatic Step7, está instalado no computador servidor e é acessado remotamente pelo usuário via TightVNC (Apêndice B). O computador está conectado via *Ethernet* ao CLP Supervisor e ao computador Cliente Aplicativo de Simulação. O computador cliente está conectado por meio de um cabo de programação ao CLP de Aplicação.

Por uma questão de facilidade e de robustez do sistema, uma vez que o ITS PLC e Simatic Step 7 são dois programas pesados e que, se executados em paralelo, poderiam gerar lentidão de processamento e travamento, foram utilizados dois computadores.

Cliente Aplicativo de Simulação: no computador Cliente está instalado o *software* ITS PLC o qual dispõe das plantas industriais virtuais a serem controladas e é acessado remotamente pelo usuário através do aplicativo TightVNC.

CLP Supervisor: com a metodologia que se pretende implementar, o CLP deve ser dotado de uma porta *Ethernet*, para assim comunicar diretamente com o Servidor Web. O equipamento de origem não estava dotado de porta *Ethernet*, optou-se pela utilização de um CLP Altus como Supervisor devido à porta de comunicação. O CLP Supervisor apenas monitora os estados e fornece sinais de entrada, provenientes do arranjo de “botoeira virtual” da página *web*.

CLP de Aplicação: como proposto no trabalho, o objetivo é utilizar um controlador que disponha de programação em Grafset. Para tanto, utilizou-se o CLP da Siemens S7-300 que dispõe por meio do *software* Simatic Step7 de programação em Grafset. O CLP da aplicação tem o objetivo de executar o controle das plantas industriais virtuais.

Placa de Aquisição: a placa de aquisição de dados é uma interface de condicionamento de sinais pela qual os sinais de entrada e saída fornecidos pelas plantas industriais são reconhecidos pelo CLP como sinais digitais padronizados.

O CLP Supervisório está conectado, via barramento de entradas e saídas, ao CLP da Aplicação, o mesmo interligado à placa de aquisição de dados, que envia os sinais de leitura ao Cliente Aplicativo de Simulação.

Cliente Remoto: todo usuário remoto que acessa o laboratório de automação utilizando apenas um navegador *web* padrão.

Os *softwares* de programação de CLPs e ITS PLC são pagos, portanto não é possível fazer sua livre distribuição para os alunos. Dessa forma, a solução proposta para que o aluno possa trabalhar diretamente na programação e nas plantas industriais, mesmo sem dispor dos *softwares*, é o uso de acesso remoto ao computador Servidor Web e ao computador Cliente Aplicativo de Simulação situado no laboratório através do TightVNC. Esse aplicativo permite que o usuário acesse uma área de trabalho remota diretamente pelo navegador *web*, dessa forma, o usuário possui acesso a todos os recursos dos *softwares* ainda que não disponha dele em seu computador. Apenas é necessário que a máquina possua Java.

5.5 DINÂMICA DE USO DO LABORATÓRIO REMOTO

Na implementação da interface gráfica com o usuário, ocorrerão todas as atividades do aprendizado no laboratório remoto. Como a ação do usuário ocorrerá por meio de um navegador para internet, alguns princípios de usabilidade, incluindo a clareza na arquitetura da informação, facilidade de navegação, simplicidade, relevância no conteúdo, manutenção da consistência e foco no usuário foram estabelecidos e serão discutidos de forma breve a seguir.

- a) Clareza na Informação: é importante que o usuário, ao acessar o conteúdo de uma página, tenha condições de discernir qual o seu propósito e o que é prioridade. Para tanto, as informações são apresentadas de forma concisa e objetiva.
- b) Facilidade de Navegação: o usuário deve obter a informação desejada com o menor número de ações (cliques) possíveis.
- c) Simplicidade: ao acessar uma página, o usuário deseja encontrar a informação o mais rápido possível. No entanto, deve-se cuidar para que a busca da simplicidade não resulte em omissão de informação.

- d) Relevância no conteúdo: diferente de outros meios de comunicação, como revistas impressas e a televisão, na *web*, o foco deve estar na informação. Os textos e imagens têm de ser os mais concisos e objetivos, implicando na adoção de um estilo de redação e apresentação otimizado para os usuários *online*.
- e) Foco no usuário: o projeto de um sistema para a *web* deve estar focado nas atividades que o usuário irá desempenhar.

Aspectos considerados no desenvolvimento buscam aproximar as atividades da realidade. As páginas da *web* foram programadas em HTML, que é uma linguagem de programação simples, sendo sua essência constituída por etiquetas (*tags*) e o navegador (*Browser*) *web* (como Google Chrome, Internet Explorer, Firefox, Safari) que lê e codifica os documentos HTML.

Este laboratório de acesso remoto encontra-se disponível no seguinte endereço *web*: <www.lremotosed.cp.utfpr.edu.br>. Na página principal, são apresentadas as seguintes opções: Introdução; Manual; Tarefas; Endereço I/O; Passo a Passo; Experimento; Contato e Links. Antes de iniciar a experiência, aconselha-se ao utilizador ler as instruções, pois é necessário instalar o Java e o *software* Time Petri Net Analyzer para modelagem de redes de Petri. Nas instruções, é indicado o *link* onde se poderá fazer *download* gratuito desses *softwares*. Na Figura 16, apresenta-se a página inicial do laboratório remoto de automação.



Figura 16 - Página inicial do laboratório remoto
Fonte: Autoria própria.

No *link* Introdução apresenta-se uma descrição breve do laboratório remoto e da arquitetura implementada na montagem. Selecionando a opção Manual, encontra-se detalhadamente todo o processo. Nesse *link* são descritas as plantas industriais disponíveis no ITS PLC, assim como seus sensores e atuadores. O site fornece vários tipos de tarefas dos processos industriais que podem ser realizadas pelo usuário, descreve as características do CLP como CPU, endereçamento e o passo a passo de como começar o experimento.

O primeiro passo para se realizar o experimento é modelar o sistema em redes de Petri Interpretada, para isso é necessário o *download* gratuito do *software*, em seguida, deve-se converter a modelagem para Grafcet para programação no Simatic Step7.

Na opção Experimento, ao acessar o *link* Programar, o usuário é direcionado para a página de acesso remoto ao computador servidor, onde deve executar o *software* Simatic Step 7, como mostra a Figura 17. Para iniciar um novo projeto, definir a CPU e realizar a programação.

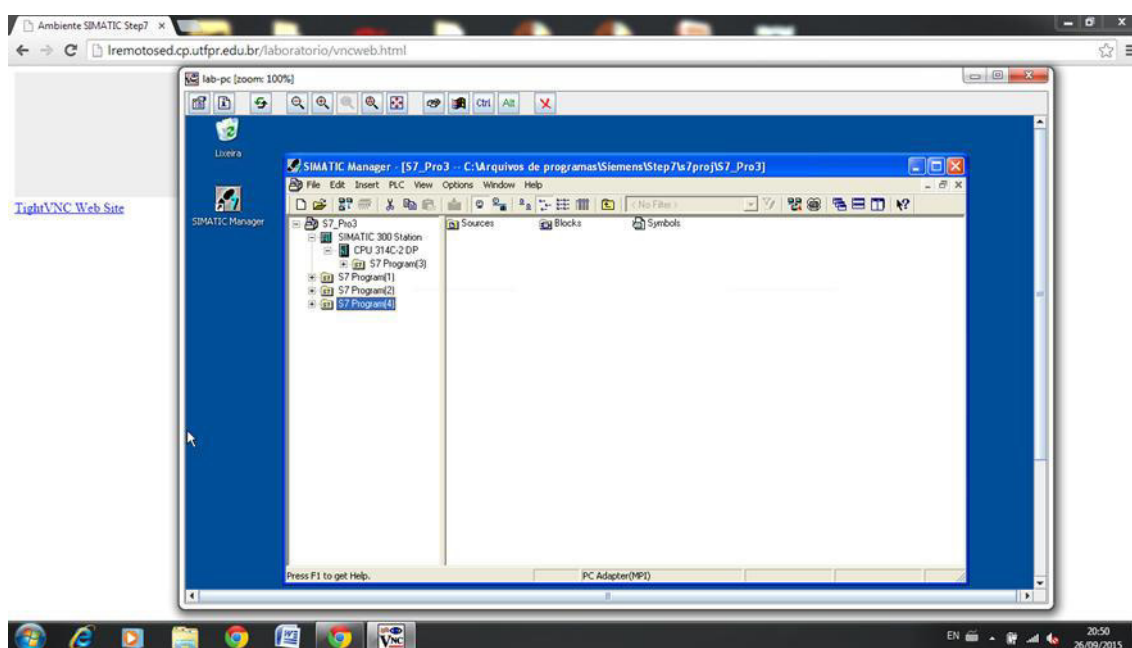


Figura 17 - Ambiente de programação Step7.
Fonte: Autoria própria.

Uma vez realizada a programação e o *download* do Grafcet no CLP, pode-se observar no *link* Visualizar Sistema a mudança de estado dos sistemas por meio dos sensores e atuadores, definidos na tarefa realizada pelo usuário. Na página de visualização, encontram-se “botões virtuais” que podem ser habilitados (*set*) ou desabilitados (*reset*) para que o usuário

interfira no sistema, como mostra a Figura 18. A configuração da função desses botões fica a critério do usuário.

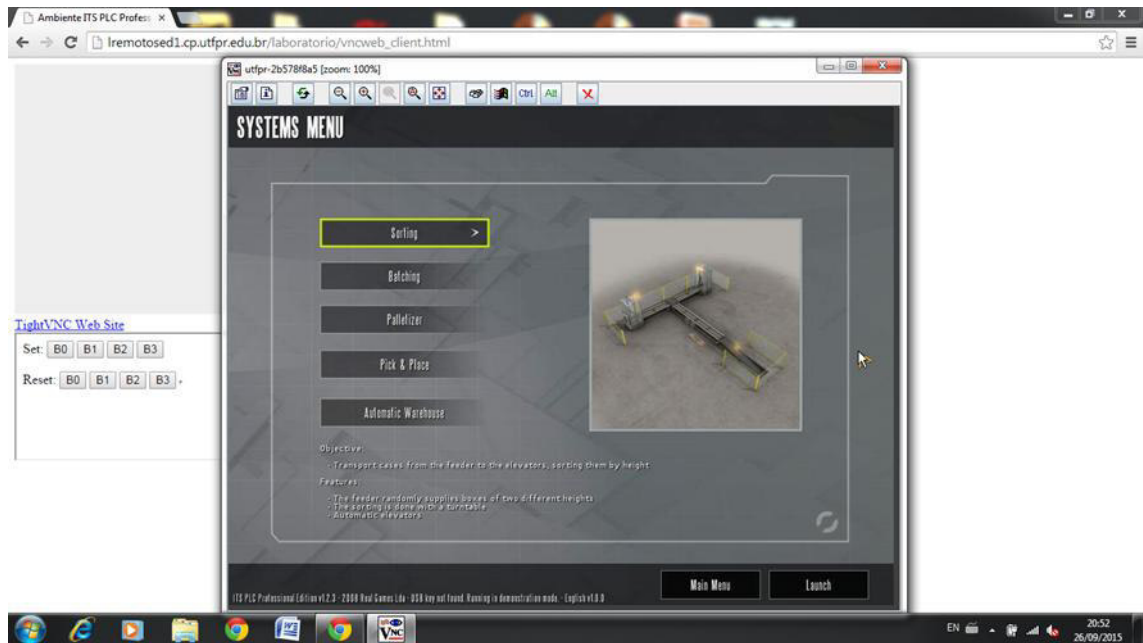


Figura 18 - Ambiente ITS PLC.

Fonte: Autoria própria.

Após terminar a experiência deve-se ter o cuidado em finalizar a programação e limpar a tarefa realizada, para que um novo utilizador possa efetuar a experiência. A página inicial apresenta um *link* para contato, em caso de dúvidas, sugestões e críticas. Na aba *links*, encontram-se sites relacionados ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e aos *softwares* utilizados no laboratório remoto.

5.6 CONCLUSÃO

O capítulo apresentou a construção detalhada do laboratório remoto com os requisitos pedagógicos e técnicos, a arquitetura utilizada na montagem dos equipamentos e a disponibilização do site para os clientes remotos.

6 TESTES DE VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO LABORATÓRIO REMOTO

6.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, é demonstrado o cenário de utilização do laboratório remoto. Tal demonstração visa a detalhar todas as etapas que compõem o uso do laboratório. Fica evidenciada a efetividade do sistema para aprendizagem dos conceitos de redes de Petri. Ao final do capítulo, é apresentado um estudo de usabilidade do laboratório remoto, com os pontos fortes e fracos do sistema, de acordo com o usuário remoto.

6.2 CENÁRIO DE UTILIZAÇÃO

Para demonstrar a utilização do laboratório remoto, foi idealizado um cenário no qual são descritas as ações de um usuário do sistema e a resposta do sistema às ações do usuário. As sequências de interação do usuário são previstas em cinco etapas, são elas:

- a) Acessar o laboratório remoto disponível no endereço: <www.lremotosed.cp.utfpr.edu.br> e ler as instruções;
- b) Analisar a planta industrial e a tarefa proposta;
- c) Modelar a tarefa por meio de RdPI;
- d) Converter o modelo de RdPI para Grafcet;
- e) Executar o controle e visualizar a tarefa no ITS PLC.

Na primeira etapa, o usuário acessa o laboratório remoto e no *link* Introdução lê as instruções e descrições do laboratório.

Na segunda etapa, no *link* Manual e Tarefas, o objetivo é analisar a planta industrial e a tarefa proposta. A planta industrial escolhida para esta aplicação é a de dosagem de tintas, que simula a mistura de três cores de tintas primárias (vermelha, verde e azul) de forma a obter a tinta de cor desejada. A Figura 19 mostra a alocação dos tanques, os sensores e atuadores no ambiente.

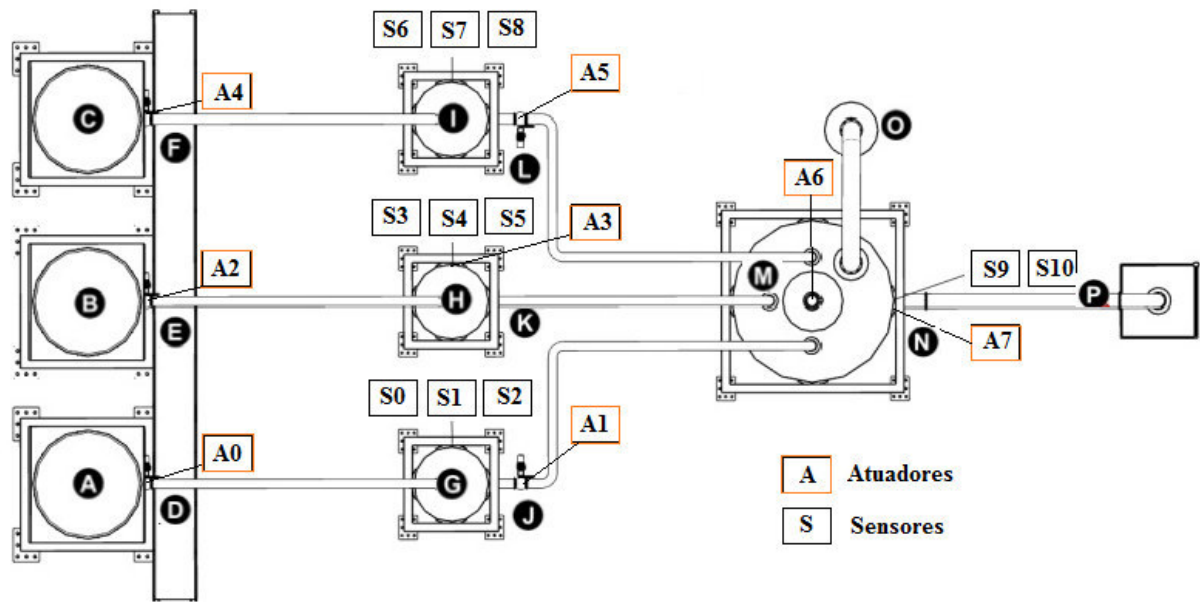


Figura 19 - Sensores e atuadores sistema de dosagem de tintas.
Fonte: Autoria própria.

Os reservatórios (A, B, C) contêm tintas de cor vermelha, verde e azul, respectivamente. A descarga dos reservatórios é feita através das válvulas (D, E, F) para os tanques de medição (G, H, I). Cada tanque possui três pontos de medição. A tinta contida nesses tanques é descarregada através das válvulas (J, K, L) para o tanque de mistura (M). Se o volume de tinta descarregado para o tanque de mistura for superior à sua capacidade, o excedente é descarregado pela purga (O). A tinta produzida é descarregada através da válvula (N) para o tubo de descarga (P). A tarefa proposta, como mostra o quadro 6, visa a realizar a experiência com a modelagem e o controle para produção de um tanque de tinta branca, com a mistura das cores vermelha, verde e azul.

Tarefa:	Acionando a botoeira Iniciar, como o sistema inativo, inicia-se o enchimento dos dosadores de tinta vermelha, verde e azul. Estando estes cheios, o conteúdo é descarregado para o tanque de mistura. O agitador é ligado durante 10 segundos, depois o tanque é descarregado. A luz da botoeira Iniciar permanece acesa quando o sistema está inativo e apagada durante a produção de tinta.
Objetivo:	Controle automático das fases de dosagem, mistura e descarga do tanque de mistura.
Estado Inicial:	Tanque de mistura e dosadores sem tinta.
Sinais de I/O:	Entrada: Sensores 0, 2, 3, 5, 6, 8, 9 e botoeira iniciar. Saídas: Atuadores 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7.
Procedimentos Manuais:	Acionar a botoeira Iniciar para dar ordem de produção.

Quadro 6 - Produção de tinta branca.

Fonte: Autoria própria.

Os sensores instalados na planta virtual são responsáveis por repassar ao CLP as informações sobre o sistema. Uma relação dos atuadores e endereços no CLP é apresentada no quadro 7.

Sensor	Descrição	Endereço
0	Nível inferior tanque tinta vermelha (tanque vazio).	I124.0
1	Nível médio tanque tinta vermelha.	I124.1
2	Nível superior tanque tinta vermelha.	I124.2
3	Nível inferior tanque tinta verde (tanque vazio).	I124.3
4	Nível médio tanque tinta verde.	I124.4
5	Nível superior tanque tinta verde.	I124.5
6	Nível inferior tanque tinta azul (tanque vazio).	I124.6
7	Nível médio tanque tinta azul.	I124.7
8	Nível superior tanque tinta azul.	I125.0
9	Nível inferior tanque mistura.	I125.1
10	Nível superior tanque mistura.	I125.2

Quadro 7 - Endereço dos sensores do sistema de dosagem de tinta.

Fonte: Autoria própria.

Os atuadores realizam mudanças nos estados dos elementos que compõem o sistema, garantindo a interação direta do CLP com o ambiente controlado. A relação de atuadores utilizados no processo de dosagem de tinta é apresentada no quadro 8.

Atuador	Descrição	Endereço
0	Válvula de descarga do reservatório tinta vermelha.	Q124.0
1	Válvula de descarga tanque de medição tinta vermelha.	Q124.1
2	Válvula de descarga do reservatório tinta verde.	Q124.2
3	Válvula de descarga tanque de medição tinta verde.	Q124.3
4	Válvula de descarga do reservatório tinta azul.	Q124.4
5	Válvula de descarga tanque de medição tinta azul.	Q124.5
6	Misturador.	Q124.6
7	Válvula de descarga tanque de mistura.	Q124.7

Quadro 8 - Endereço dos atuadores do sistema de dosagem de tinta.

Fonte: Autoria própria.

Na terceira etapa, com base no sistema de dosagem de tinta e nas especificações de funcionamento, inicia-se a construção do algoritmo de controle através de RdPI. A modelagem é feita no *software* TINA, disponível para *download* para o usuário no *link* Passo a Passo. Cada elemento que constitui o sistema de dosagem de tintas para produção de tinta branca foi modelado individualmente.

Para o Reservatório de tinta vermelha é identificado um estado, representado pelo lugar depósito_vermelho. Para o Tanque de Medição são identificados dois estados: medidor vazio, representado no modelo pelo lugar medidor_verm_vazio, e o estado em que o medidor está cheio, descrito no modelo pelo lugar medidor_verm_cheio. Duas transições (t_0 e t_1) são utilizadas para conectar os estados descritos, logo, obtém-se a Rede de Petri Interpretada mostrada na Figura 20.

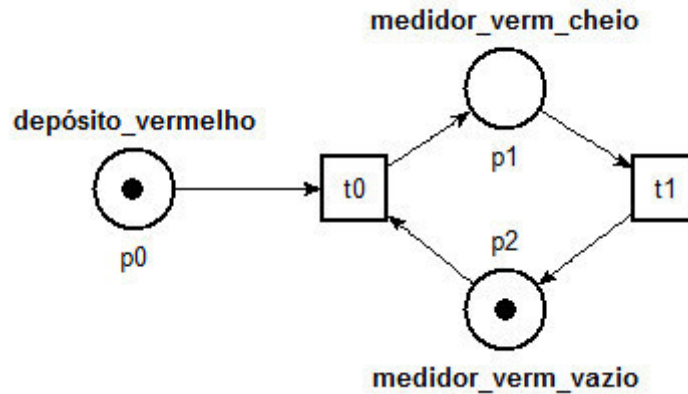


Figura 20 – RdPI reservatório e tanque de medição tinta vermelha.
Fonte: Autoria própria.

O Reservatório de tinta verde é semelhante ao de tinta vermelha, é identificado um estado, representado pelo lugar depósito_verde. Para o Tanque de Medição, são identificados dois estados: medidor vazio, representado no modelo pelo lugar medidor_verd_vazio, e o estado em que o medidor está cheio, descrito no modelo pelo lugar medidor_verd_cheio, como mostra a Figura 21.

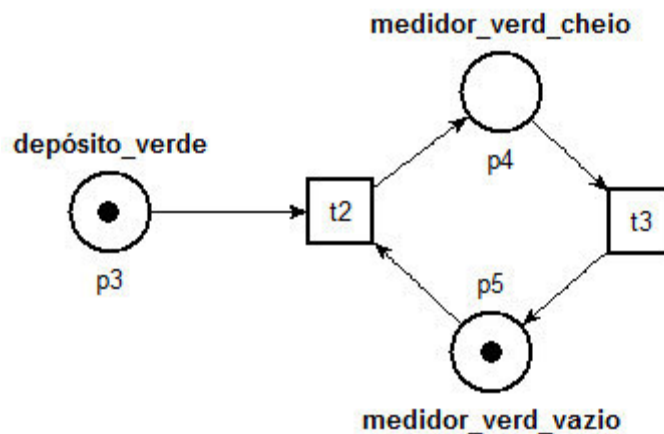


Figura 21 – RdPI reservatório e tanque de medição tinta verde.
Fonte: Autoria própria.

Para o Reservatório de tinta azul é identificado um estado, representado pelo lugar depósito_azul. Para o Tanque de Medição, são identificados dois estados: medidor vazio, representado no modelo pelo lugar medidor_azul_vazio, e o estado em que o medidor está cheio, descrito no modelo pelo lugar medidor_azul_cheio, como mostra a Figura 22.

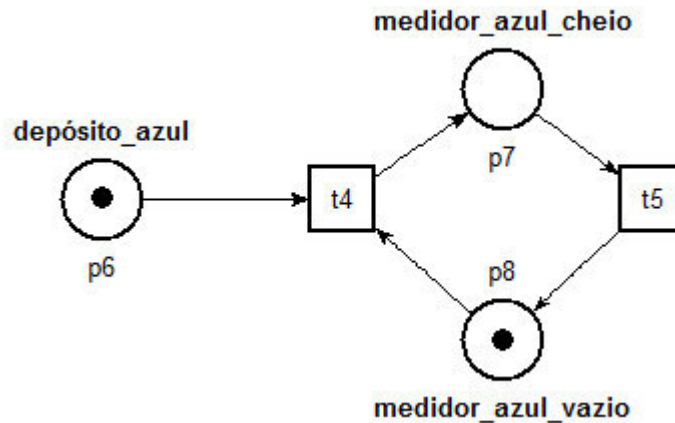


Figura 22 - RdPI reservatório e tanque de medição tinta azul.
Fonte: Autoria própria.

O Tanque de Mistura possui dois estados: misturador parado, representado no modelo pelo lugar `misturador_parado`, e o estado em que misturador está em operação, representado por `misturador_op`. A RdPI do elemento descrito é mostrada na Figura 23.

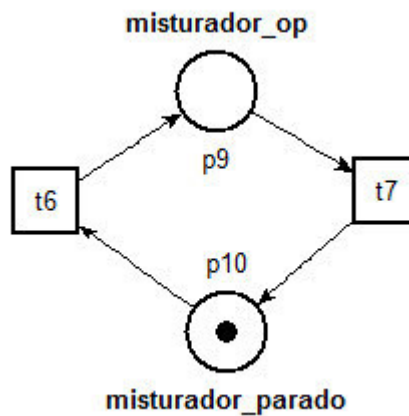


Figura 23 - RdPI tanque de mistura.
Fonte: Autoria própria

Após a modelagem da lógica de controle de cada elemento que compõe o sistema, realiza-se a união das RdPI, considerando as transições que são compartilhadas pelos elementos e a especificação de funcionamento do processo. A RdPI de controle do processo é apresentada na Figura 24.

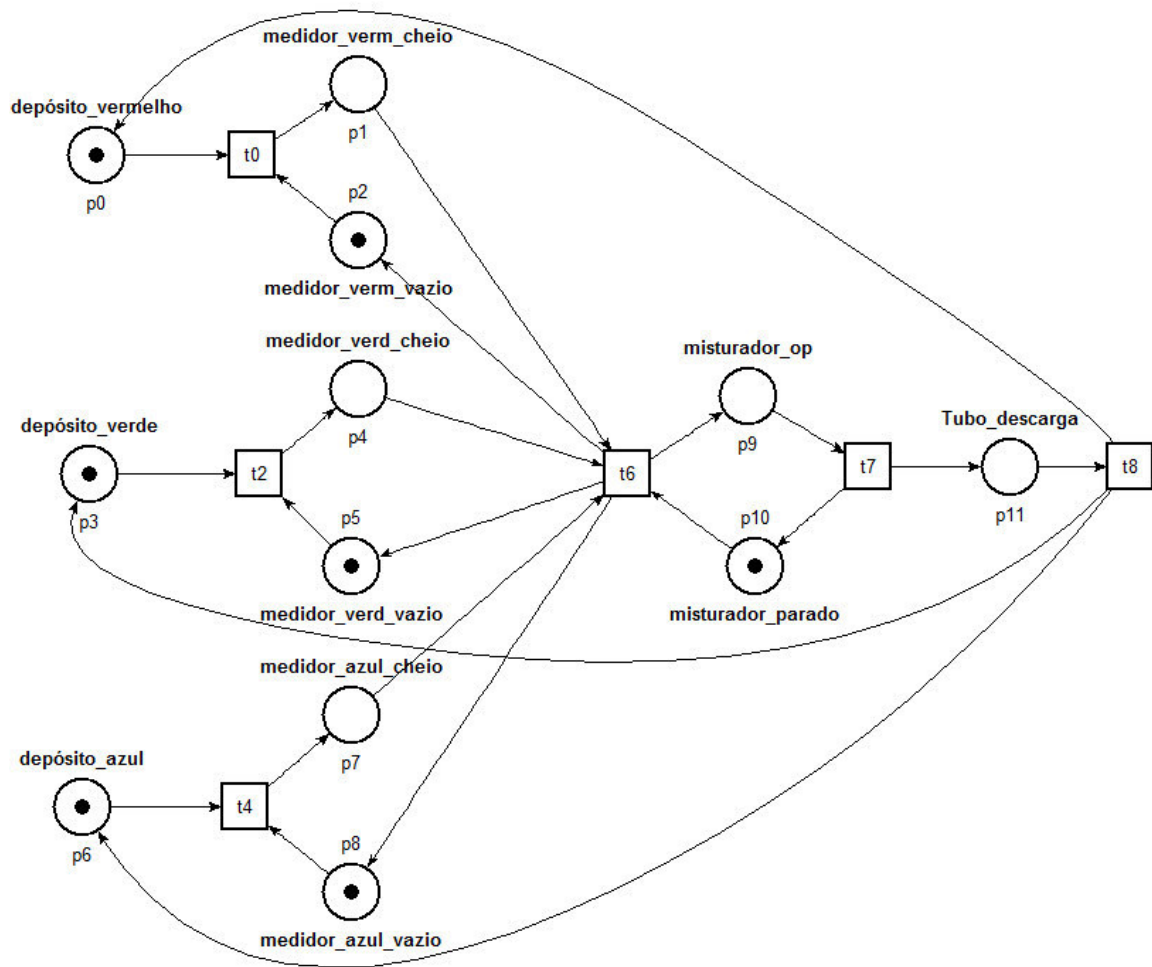


Figura 24 - RdPI para produção de tinta branca.
Fonte: Autoria própria.

Na quarta etapa de interação o objetivo é converter o modelo de RdPI para Grafcet. No *link* Passo a Passo encontra-se um método de conversão do autor Silva (2013). Acessando o *link* Experimento em seguida Programar, direciona o usuário ao *software* Simatic Step 7, aonde realiza a programação. O Grafcet de controle de produção de tinta branca é mostrado na Figura 25.

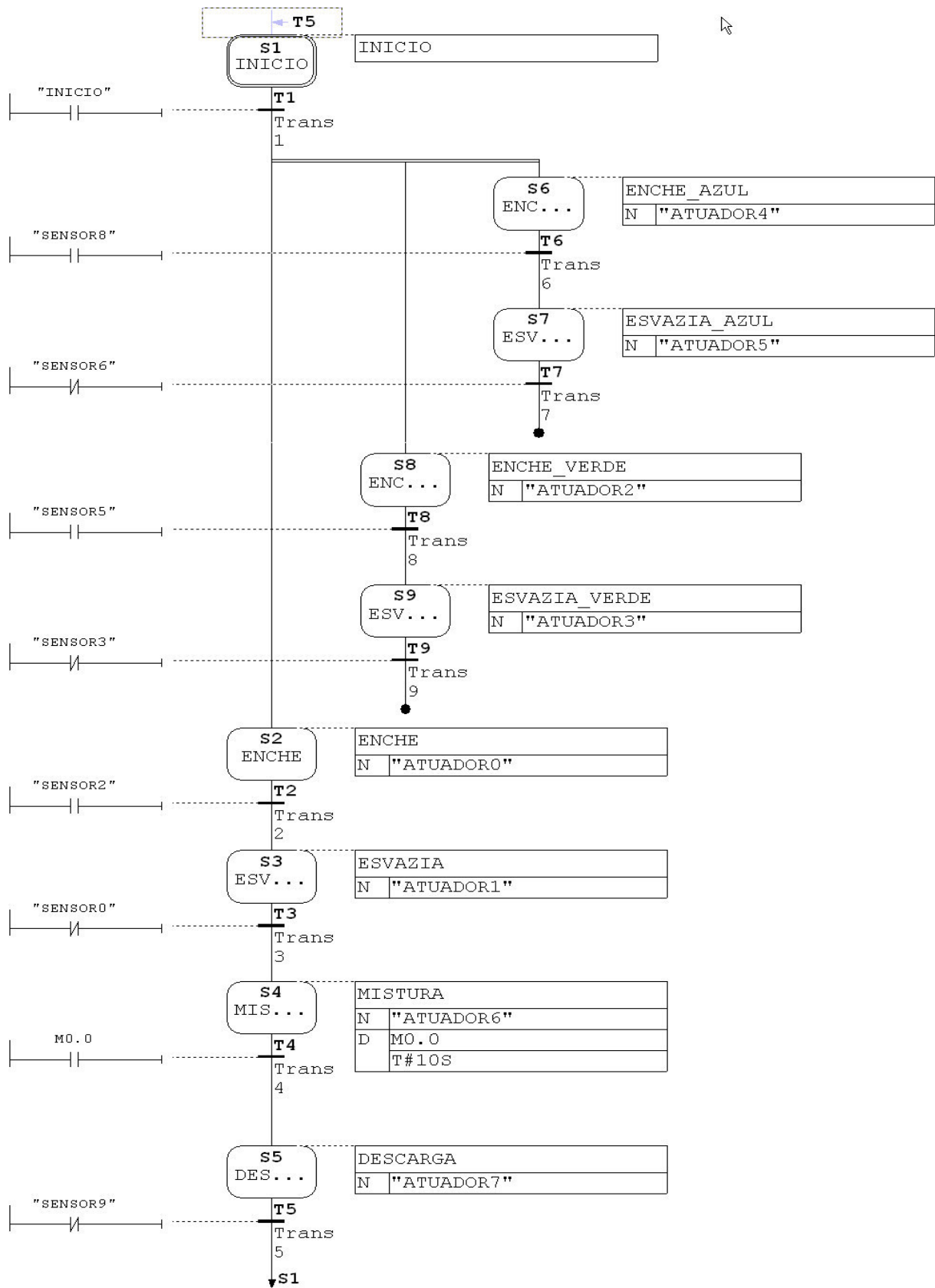


Figura 25 - Grafcet para produção de tinta branca.
Fonte: Autoria própria.

Na quinta etapa, após a construção do Grafset, realiza-se o *download* do programa no CLP, que fará o controle do processo para produção de tinta branca. No *link* Experimento e, em seguida, Visualizar Sistema, o usuário remoto visualiza a mudança de estado do sistema no *software* ITS PLC, como mostra a Figura 26.



Figura 26 - Visualização do sistema de dosagem para produção de tinta branca.
Fonte: Autoria própria.

6.3 USABILIDADE DO LABORATÓRIO REMOTO

Com objetivo de avaliar a usabilidade do laboratório remoto, foram convidados dez alunos do curso de graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, para interagir com o laboratório, realizando o cenário de uso descrito anteriormente. A escolha dos alunos foi motivada pelo fato de terem cursado a disciplina de Modelagem e Controle de Sistemas Automatizados, na qual são apresentados tópicos específicos sobre redes de Petri e Grafset, proporcionando, com o laboratório remoto, um contato prático dos alunos com formalismos de sistemas a eventos discretos.

A estratégia utilizada para o teste de usabilidade foi dividida em três etapas. A primeira delas consistiu em apresentar noções básicas sobre o laboratório remoto e a tarefa a ser executada, para produção de tinta branca. Na segunda etapa, os alunos realizaram a tarefa individualmente. A última etapa consistiu em solicitar aos alunos que respondessem a um

questionário sobre a dinâmica do laboratório remoto (Apêndice F). Esse questionário continha cinco questões objetivas, de múltipla escolha, e uma questão subjetiva, referente a sugestões para melhorar a dinâmica do laboratório remoto.

O questionário foi baseado na característica de usabilidade do produto *software* da norma NBR ISO/IEC 9126-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003). Essa norma descreve um modelo de qualidade do produto de *software*, composto de duas partes: (i) qualidade interna e externa e (ii) qualidade em uso. A primeira parte do modelo especifica seis características para qualidade interna e externa, que são subdivididas em subcaracterísticas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003). A Figura 27 apresenta a primeira parte do modelo.

A subcaracterística de usabilidade representa a capacidade do produto de *software* de ser compreendido, aprendido, operado e atraente ao usuário, quando usado sob condições especificadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

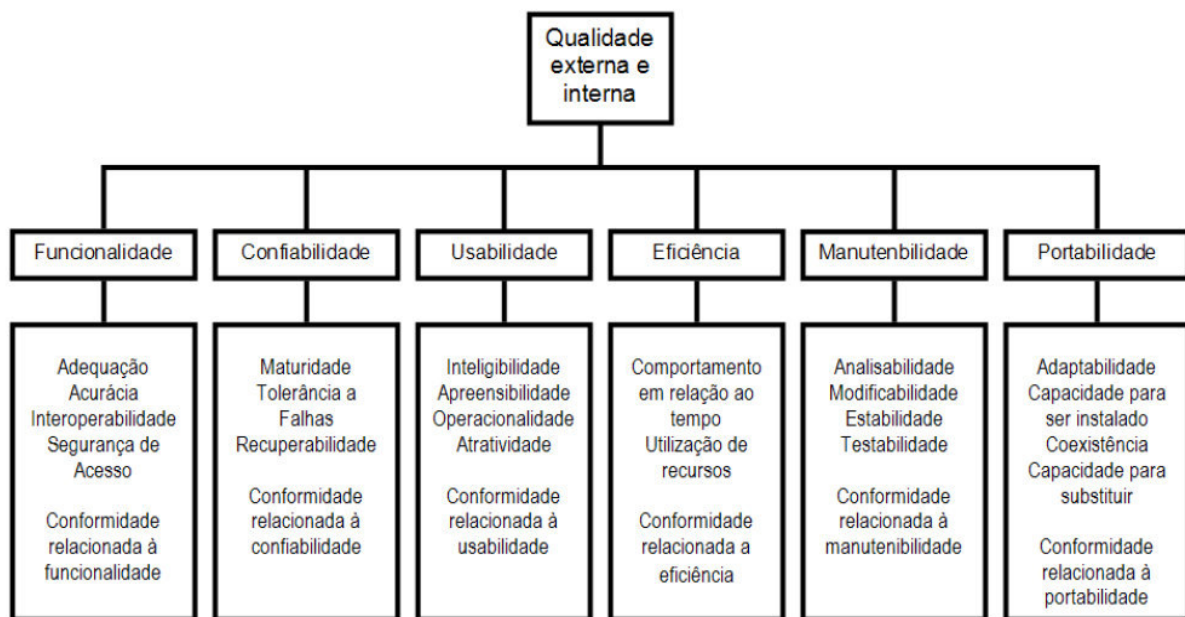


Figura 27 - Modelo de qualidade interna e externa.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003).

Conforme a Figura 27, as subcaracterísticas de usabilidade são:

- a) Inteligibilidade: capacidade do produto de *software* de possibilitar ao usuário compreender se o programa é apropriado e como ele pode ser usado para tarefas e condições de uso específico;

- b) Apreensibilidade: capacidade do produto de *software* de possibilitar ao usuário aprender sua aplicação;
- c) Operacionalidade: capacidade do produto de *software* de possibilitar ao usuário operá-lo e controlá-lo;
- d) Atratividade: capacidade do produto de *software* de ser atraente ao usuário.

A inteligibilidade foi abordada no questionário com a seguinte pergunta: ao utilizar o laboratório remoto, você conseguiu identificar os conceitos teóricos relacionados à tarefa proposta? As possibilidades de resposta eram sim ou não. A Figura 28 apresenta o resultado das respostas dadas para a questão.

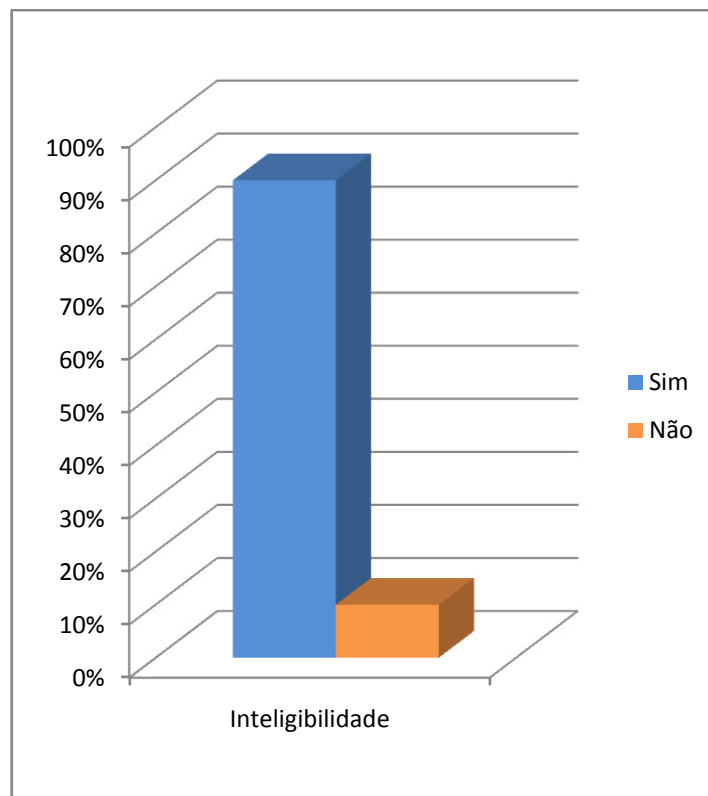


Figura 28 - Gráfico com resposta de inteligibilidade.
Fonte: Autoria própria.

Nos termos de inteligibilidade, 90% consideraram que identificaram os conceitos teóricos da tarefa proposta. Portanto o laboratório remoto foi capaz de demonstrar com facilidade os conceitos teóricos auxiliando na realização da tarefa proposta e no aprendizado dos conceitos de redes de Petri.

A apreensibilidade foi abordada no questionário com a seguinte pergunta: você conseguiu aprender com facilidade a utilizar o laboratório remoto para realizar a tarefa

proposta? As possibilidades de resposta eram sim ou não. A Figura 29 apresenta o resultado das respostas dadas para a questão.

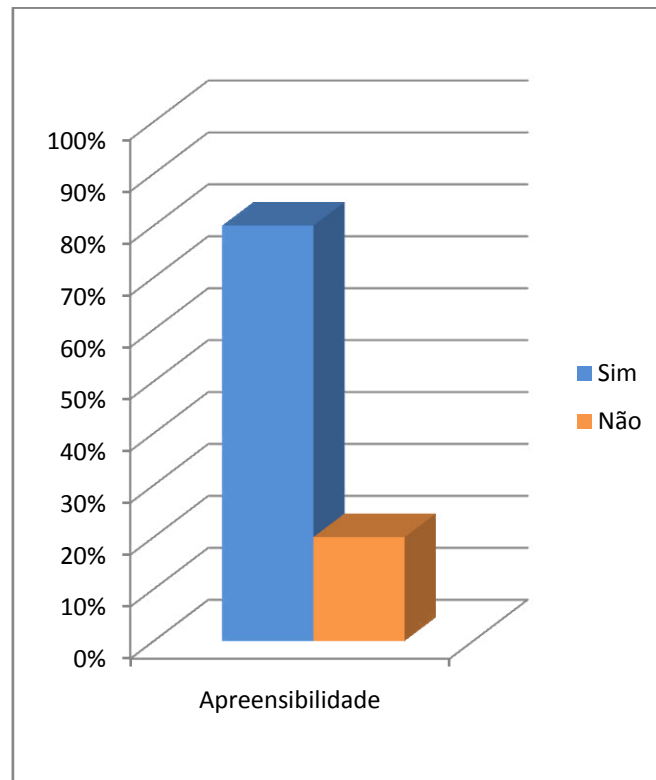


Figura 29 - Gráfico com resposta de apreensibilidade.
Fonte: Autoria própria.

Nos termos de apreensibilidade, 80% consideraram que aprenderam com facilidade a utilizar o laboratório remoto. Portanto demonstrou capaz de propiciar uma interface simples e de fácil compreensão ao usuário remoto.

A operacionabilidade foi abordada no questionário com a seguinte pergunta: você conseguiu operar e controlar com facilidade o laboratório remoto para realizar a tarefa proposta? As possibilidades de resposta eram sim ou não. A Figura 30 apresenta o resultado das respostas dadas para a questão.

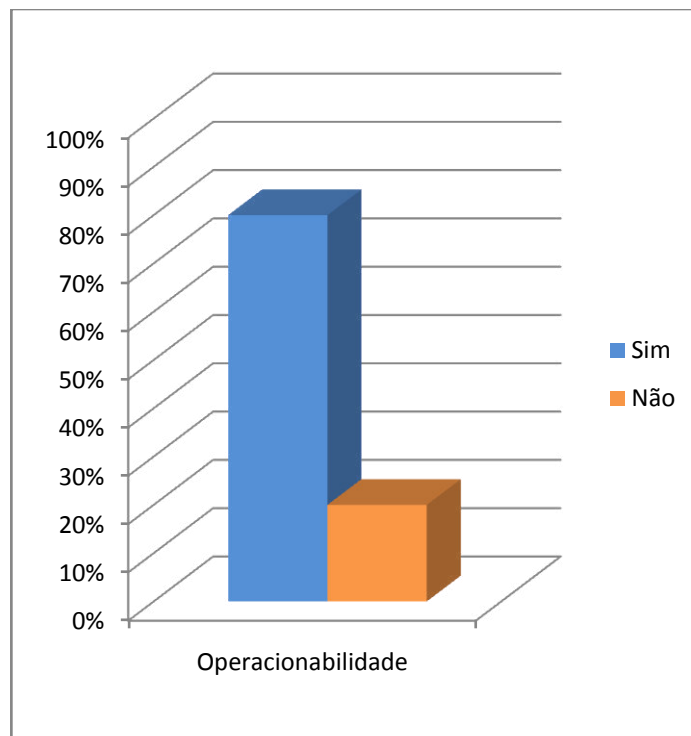


Figura 30 - Gráfico com resposta de operacionabilidade.
Fonte: Autoria própria.

Nos termos de operacionabilidade, 80% consideraram que conseguiram operar e controlar o laboratório remoto para realizar a tarefa proposta. Portanto demonstrou ser uma ferramenta dinâmica de fácil operação para o ensino e aprendizado.

A atratividade foi abordada no questionário com a seguinte pergunta: o laboratório remoto foi capaz de despertar sua atenção e mantê-la até o final da tarefa proposta? As possibilidades de resposta eram sim ou não. A Figura 31 apresenta o resultado das respostas dadas para pergunta sobre a questão.

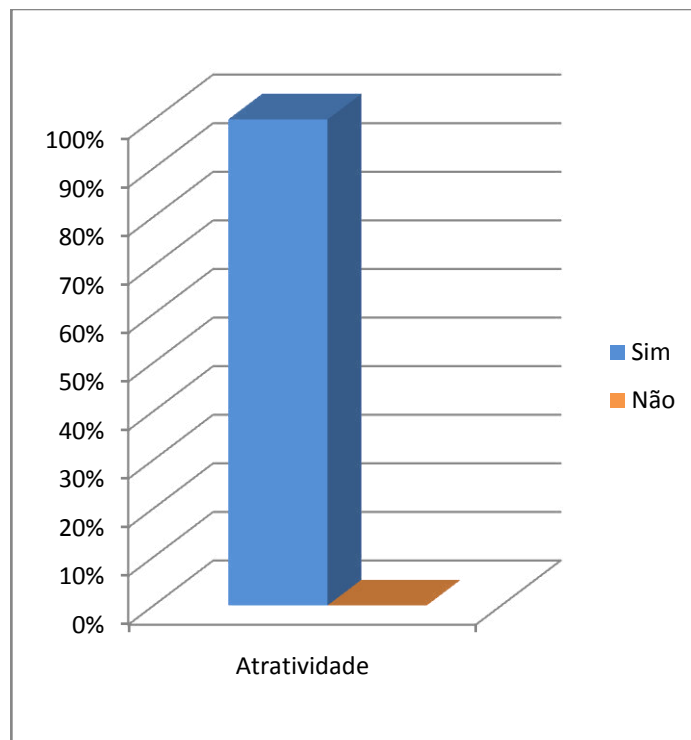


Figura 31 - Gráfico com resposta de atratividade.
Fonte: Autoria própria.

Nos termos de atratividade, 100% consideraram que o laboratório remoto foi capaz de despertar atenção e mantê-la até o final da tarefa proposta. Portanto, o laboratório conseguiu prender a atenção do usuário, propiciando o aprendizado dos conceitos de redes de Petri.

A última pergunta do questionário refere-se à avaliação pessoal do aluno em relação ao laboratório remoto, sendo abordada com a seguinte pergunta: qual o conceito que você atribuiu à metodologia utilizada pelo laboratório remoto? As possibilidades de resposta eram excelente, bom, regular e insuficiente. A Figura 32 mostra o gráfico com as respostas dadas pelos alunos de graduação.

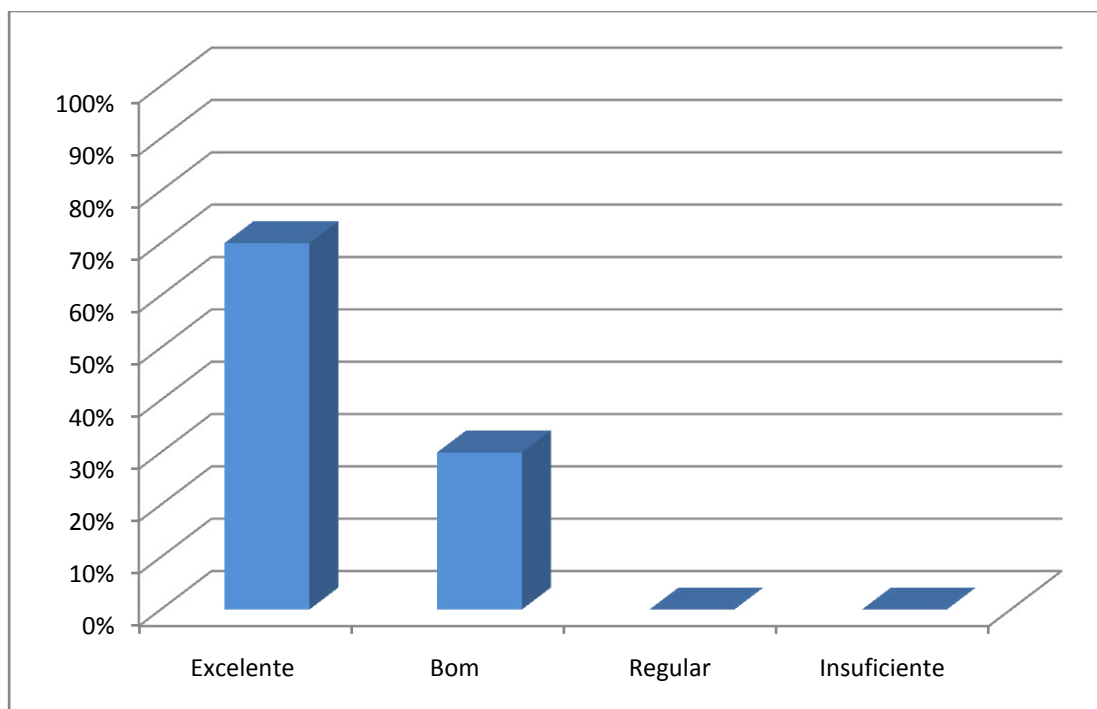


Figura 32 - Gráfico de qualidade laboratório remoto.
Fonte: Autoria própria.

É possível observar que 70% dos alunos atribuíram um conceito excelente e 30% um conceito bom para metodologia do laboratório. Portanto, todos os usuários aprovaram a qualidade do uso do laboratório remoto, assim atendendo às expectativas de aprendizado sobre conceitos de redes de Petri.

Por fim, o questionário incentivava o aluno a dar sugestões para melhorar a dinâmica utilizada no laboratório remoto. Entre as sugestões dos alunos, destacam-se: colocar o campo de programação e visualização do sistema de dosagem de tintas na mesma página, permitir que o usuário possa programar também em linguagem Ladder e elaborar um manual que forneça mais detalhes sobre o laboratório.

Após analisar os questionários, a sugestão de elaborar um manual com mais detalhes foi prontamente atendida. Programar em Ladder muda o foco de estudo que é voltado para redes de Petri e Grafset, por isso não foi acatada. As demais sugestões encontram-se em fase de implantação, visto que não apresentam a mesma simplicidade da sugestão atendida.

6.4 CONCLUSÃO

Neste capítulo, foram apresentados os detalhes do cenário de utilização do laboratório remoto. Foram também descritas as ações de um usuário do sistema e a resposta

do sistema às ações do usuário, com a realização de uma tarefa para produção de tinta branca. Foi realizada a modelagem da tarefa em RdPI, a programação em Grafcet e a visualização do sistema no ITS PLC.

O capítulo também apresentou um teste de usabilidade com alunos da graduação em Engenharia de Controle e Automação. Os alunos interagiram com laboratório remoto e responderam um questionário avaliando-o. O questionário foi elaborado a partir do critério de usabilidade da norma NBR ISO/IEC 9126-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), que representa a capacidade do produto de *software* de ser compreendido, aprendido, operado e atraente ao usuário.

Ainda que de forma preliminar, é possível concluir que o uso do laboratório remoto contribuiu para o aprendizado dos conceitos de redes de Petri. Algumas oportunidades de melhorias foram identificadas pelos próprios alunos por meio do questionário respondido por eles. Essa interação é importante para este trabalho, pois estimula a atualização constante da tecnologia empregada, do laboratório desenvolvido e do próprio conteúdo abordado.

7 CONCLUSÃO

A aprendizagem através das criação de ambientes *web*, tem como meta a produção de conhecimento do ponto de vista tecnológico e psicopedagógico, que possibilita a auto-aprendizagem apresentados em diferentes suportes de informação, utilizando diversos meios de comunicação para o desenvolvimento do ensino da engenharia. Este trabalho apresentou uma ferramenta para o ensino e aprendizado na área de sistemas a eventos discretos.

Teve por finalidade implementar um laboratório remoto de automação para viabilizar práticas de aprendizagem de redes de Petri. O laboratório remoto disponibiliza experiências a partir de plantas industriais virtuais e as implementa utilizando um controlador lógico programável (CLP), que é programado em Grafset de acordo com tarefas pré-definidas. A lógica de controle das plantas industriais é modelada em RdPI e posteriormente gerado um programa em Grafset. O laboratório possibilita que qualquer usuário conectado à internet possa enviar, monitorar e verificar comandos de forma interativa.

A partir deste trabalho, observou-se que a implementação de ferramentas interativas, facilitam a aprendizagem de conceitos abstratos e auxiliam no desenvolvimento de competências em modelagem de sistemas a eventos discretos.

O trabalho também apresentou um cenário de uso do laboratório remoto, com a modelagem e controle para produção de tinta branca. Foi realizado um estudo sobre a usabilidade do sistema com alunos da graduação de Engenharia de Controle e Automação, a fim de testar o laboratório remoto e identificar a eficiência do mesmo. Destaca-se como ponto importante desse trabalho a interação dos alunos com uma abordagem prática e real da aplicação do conteúdo teórico ministrado em aula.

Apesar da dificuldade em testar outras plantas industriais, o laboratório remoto é flexível, existindo a possibilidade de utilizar plantas industriais reais e outros *softwares* de plantas virtuais.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

Em termos de sugestões para o aperfeiçoamento de conteúdo e adição de novos experimentos, temos:

- a) Elaborar novas tarefas com as cinco plantas industriais virtuais disponíveis no ITS PLC.

Em termos de sugestões para melhorias do laboratório remoto, temos:

- a) Desenvolver um sistema para gestão dos alunos que utilizam o laboratório remoto, bem como para gestão do conteúdo utilizado;
- b) Implantar um sistema de segurança para utilização do acesso remoto ao computador servidor;
- c) Criar novas experiências para o estudo de outros formalismos de sistemas a eventos discretos, como controle supervísório.

REFERÊNCIAS

ALBU, M. M. et al. **Embedding Remote Experimentation in Power Engineering Education**. IEEE Transactions on Power Systems, New York, Fev, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/IEC 9126-1**. Engenharia de software – Qualidade de produto – Parte 1: Modelo de Qualidade. 2003.

ATKAN, B.; BOHUS, C. A.; CROWL, L. A.; SHOR, M. H. **Distance Learning Applied to Control Engineering Laboratories**. IEEE Transactions on Education, New York. Aug, 1996.

AUER, M.; PESTER, A.; URSUTIU, D.; SAMOILA, C. **Distributed Virtual and Remote Labs in Engineering**. In: IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), New York, 2003.

AZAKLAR, S.; KORKMAZ, H. **A Remotely Accessible and Configurable Electronics Laboratory Implementation by Using LabVIEW**. Computer Applications in Engineering Education, v. 18, n. 4, p. 709-720, 2008.

AYDOGMUS, Z.; AYDOGMUS, O. **A Web-Based Remote Access Laboratory Using SCADA**. IEEE Transactions on Education, v. 52, n. 1, p. 126-132, 2009.

BARACOS, P. **Grafcet Step by Step**. A tutorial and reference guide to the Grafcet automation language. Saint Laurent, Canadá: Famic, 1992.

BORRACHA, A. M. L. G. **Laboratório Remoto de Automação Industrial (Lab - RAI)**. Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa, 2012.

BRUNS, F. W.; ERBE, H. H. **Mixed-reality with Hyper-Bonds – a means for remote labs**. In: IFAC SYMPOSIUM ON INFORMATION CONTROL PROBLEMS IN MANUFACTURING (INCOM), Salvador, Brasil, 2004.

CARDOSO, J.; VALETTE, R. **Redes de Petri**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1997.

CASINI, M.; PRATTICIZZO, D.; VICINO, A. **The Automatic Control Telelab – a user friendly interface for distance learning**. IEEE Transactions on Education, New York, May, 2003.

CASSANDRAS, C. G.; LAFORTUNE, S. **Introduction to Discrete Event Systems**. New York: Springer, 2008.

COOPER, M.; DONNELLY, A.; FERREIRA, J. M. **Remote Controlled Experiments for Teaching over the Internet: comparison of approaches developed in PEARL project**. In: AUSTRALASIAN SOCIETY FOR COMPUTERS IN LEARNING IN LEARNING IN TERTIARY EDUCATION (ASCILITE), Auckland, Australia, 2002.

DAVID, R. **Grafcet: A Powerful Tool for Specification of Logic Controllers**. In: IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY. Proceedings of, v.3, n.3, p. 253-268, sept, 1995.

_____; ALLA, H. **Discrete, Continuous and Hybrid Petri Nets**. Berlin: Springer, 2010.

DIAS, J. R. S. **Um Laboratório para um Curso de Automação Industrial Utilizando a Teoria de Sistemas a Eventos Discretos**. Tese de doutorado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

DJALIC, V.; MARIC, P.; KOSIC, D.; SAMUELSEN, D.; THYBERG, B.; GRAVEN, O. **Remote Laboratory for Robotics and Automation as a Tool for Remote Access to Learning Content**. University of Banjaluka, Banjaluka, Bosnia and Herzegovina. Buskerud University College, Kongsberg, Norway, 2012.

FALTIN, N.; BOHNE, A.; TUTTAS, J.; WAGNER, B. **Distributed Team Learning in an Internet Assisted Laboratory**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING EDUCATION, Manchester, 2002.

FERRATER-SIMÓN, C. et al. **A Remote Laboratory Platform for Electrical Drive Control Using Programmable Logic Controllers**. IEEE Transactions on Education, v. 52, n. 3, p. 425-435, 2009.

FERREIRA, J. M. M.; MÜLLER, D. **The MARVEL project: asocial constructivist approach to remote experimentation**. Villach: [s.n.], 2004. 11p. Disponível em: <<http://www.arteclab.uni-bremen.de/Projects/marvel/fileadmin/templates/MARVEL/documents/2004-09-REV04-EUP-paper.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2014.

_____; COSTA, R. J.; ALVES, G. COOPER, M. **The PEARL Digital Eletronics Lab: full access to the work bench via the web**. In ANNUAL CONFERENCE ON INNOVATIONS IN EDUCATION FOR ELETRICAL AND INFORMATION ENGINEERING (EAEEIA), York, England. Apr, 2002.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC. International Standard 61131-2. Programmable Controllers, Part.2: Equipment requirements. 2007. Disponível em: <<http://webstore.ansi.org/RecordDetail.aspx?sku=IEC+61131-2+Ed.+3.0+b%3a2007>>. Acesso em 27 set. 2015.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC. International Standard 60848. Preparation of function charts for control systems. 2013. Disponível em: <http://webstore.ansi.org/RecordDetail.aspx?sku=IEC+60848+Ed.+3.0+b%3a2013>. Acesso em 27 set. 2015.

IRMAK, E. et al. **A Remote Laboratory Experiment for 4-Quadrant Control of a DC Motor**. Computer Applications in Engineering Education, v. 19, n. 4, p. 747-758, 2009.

JOHANSSON, C. **A Graphical Language for Batch Control**. Lund: Automatic control, 1999.

JIMÉNES, I.; LOPÉS, E.; RAMÍRES, A. **Synthesis of Ladder Diagrams from Petri Nets Controller Models**. Proceedings of the 2001 IEEE International Symposium on Intelligent Control, México City, México, 2001.

KO, C.C. et al. **A Web Based Virtual Laboratory on a Frequency Modulation Experiment**. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, New York. Aug, 2001.

LOUREIRO, I. B. **Laboratório Remoto para Ensino de Eficiência Energética em um Sistema de Bombeamento de Água**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

MIDDLETON, N. T.; GLASER, S.; GOSINK, J. P.; PARKER, T. **An Integrated Engineering Systems Laboratory**. Proceeding of the 1996 Frontiers in Education Conference, 651-655, 1996.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Um Programa Didático em Automação Industrial**. Anais do XIV – Congresso Brasileiro de Automática, pp. 1397-1402, Natal, Brasil, Set., 2002.

PUERTO, R.; JIMÉNEZ, L. M.; REINOSO, O. **Remote Control Laboratory Via Internet Using Matlab and Simulink**. Computer Applications in Engineering Education, v. 18, n. 4, p. 694-702, 2009.

RAPANELLO, R. M. **Laboratório Remoto de Qualidade de Energia Elétrica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.

SANTANA, I.; FERRE, M.; IZAGUIRRE, E.; ARACIL, R. **Remote Laboratories for Education and Research Purposes in Automatic Control Systems**. IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 9, no. 1, February, 2013.

SANTOS, D. L. **LabExp – Laboratório de Experimentação Remota em Tempo Real**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

SCHUMACHER, E.; TAVARES, A.; SILVA, M.R.; SILVA, H.S.; DALFOVO; OSCAR; LAVALL I.T.; AZAMBUJA, R.A. **Física Experimental Auxiliada Por Laboratório Virtual**. In: Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 9., 2004. Jaboticatubas. Atas do IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2004.

SILVA, J. B. **A Utilização Da Experimentação Remota Como Suporte Para Ambientes Colaborativos De Aprendizagem**. Tese Doutorado em Engenharia de Gestão do Conhecimento da Universidade. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

SILVA, H. V. D. **Metodologia de Projetos de Automação Industrial Visando a Conversão Automática de Redes de Petri Interpretadas em Códigos Implementáveis**. Programa de pós-graduação em engenharia elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procopio, 2013.

SILVESTRE, R. P. **Implementação em Ladder de Sistemas de Automação Descritos por Redes de Petri Interpretadas para Controle**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

SOARES, F. A.; CARDOSO, J.; CURY, J. E. **An Integrated Environment of tools for the Design of Manufacturing Systems**. In: WORKSHOP INTELLIGENT MANUFACTURING SYSTEMS, 1994, Viena, Áustria.

SOUZA, A. L.; DE OLIVEIRA, J. C. **Laboratórios Acessíveis via Internet: um recurso didático para o ensino/aprendizado de engenharia elétrica**. In: ENCONTRO EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 7, 2001. Petrópolis e Iguaba Grade: Rio de Janeiro, 2001.

SRINAVASAGUPTA, D.; JOSEPH, B. **An Internet Mediated Process Control Laboratory**. IEEE Control Systems Magazine, New York, Feb, 2003.

STEFANOVIC, M.; et al. **A LabVIEW Based Remote Laboratory Experiments for Control Engineering Education**. Computer Applications in Engineering Education, v. 19, n. 3, p. 538-549, 2009.

TEIXEIRA, C.; CAPOBIANCO, D.; PRAZERES, C.; SANTOS, F.; BARBOSA, M. **Processo de Modelagem de Resposta: refinando requisitos de software de apoio a laboratórios de acesso remoto.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO- SBIE, 2005, Juiz de Fora. Disponível em: <<http://www.br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/viewFile/435/421>>. Acesso em: 11 nov. 2014.

UZAM, M.; JONES, A.; AJLOUNI, N. **Conversion of Petri Nets Controllers for Manufacturing Systems into Ladder Logic Diagrams.** IEEE Symposium on Emerging Technology and Factory Automation, ETFA, 1996.

WU, D. et al. **Streaming Video over the Internet: approaches and directions.** IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, New York, Mar, 2001.

ZHOU, M.; VENKATESH, K. **Modeling, Simulation and Control of Flexible Manufacturing Systems: A Petri Net approach.** Danvers: World Scientific, 1999 (Series in Intelligent Control and Intelligent Automation, v. 6).

APÊNDICES

APÊNDICE A – BANCO DE ENSAIOS PARA CLP SIEMENS S7-300

O kit modelo XC112 da Exsto, utilizando PLC S7-300 da Siemens, permite explorar PLCs de porte industrial com a CPU 314C 2DP da família S7-300. Possui 24 entradas digitais, 16 saídas digitais a transistor PNP, 5 entradas analógicas e 2 saídas analógicas. A CPU 314C traz integrada uma porta de comunicação PROFIBUS mestre/escravo, o que permite realizar experiências de redes industriais. A IHM gráfica colorida que integra o kit possui tela *touch*, permitindo a criação de interfaces mais flexíveis. O kit de CLP da Exsto permite ao estudante ter contato com as mais modernas e utilizadas famílias de CLPs. A Figura A1, mostra o kit didático da Exsto.



Figura A1: Kit didático da Exsto utilizando CLP S7-300

APÊNDICE B – TIGHTVNC

O TightVNC é uma solução baseada em HTML5 de distribuição gratuita que permite aos utilizadores aceder aos seus computadores de forma remota, compartilhando o seu ambiente de trabalho, ou assumir o controle total do computador. Algumas das razões para a utilização do TightVNC:

- É universal a todos os *browsers* de internet e não exige configurações por parte do cliente;
- Oferece três modos de conexão: partilha de tela, *desktop* remoto e transferência de arquivos;
- Oferece características únicas, tais como: transferência de arquivos, modo de apresentação, métodos de autenticação flexível, impressão remota entre outros.

Algumas áreas onde o TightVNC é utilizado:

- Assistência remota;
- Apresentações *on-line*;
- Transferências de arquivos.

O TightVNC baseia-se em padrões *web* atuais como o AJAX, JSON e HTML5. O TightVNC requer apenas Java do lado do utilizador final e pode ser usado a partir de praticamente qualquer dispositivo com *browser* de internet. A aplicação suporta Internet Explorer, Firefox, Google Chrome, Safari entre outros, desde que suportem o protocolo HTML5.

APÊNDICE C– SOFTWARE SIMATIC STEP 7

O software SIMATIC Step 7, como mostra a Figura A2, é um ambiente de sistema integrado e oferece ao usuário a ferramenta para cada tarefa e cada projeto, a fim de otimizar o fluxo de trabalho de engenharia. O Step 7 compreende linguagens básicas como LAD – Diagrama Ladder, FBD – Diagrama de Blocos Funcionais, STL – Lista de Instruções e Grafcet. As linguagens disponibilizam várias funções que podem ser aplicados a toda gama de controladores SIMATIC.

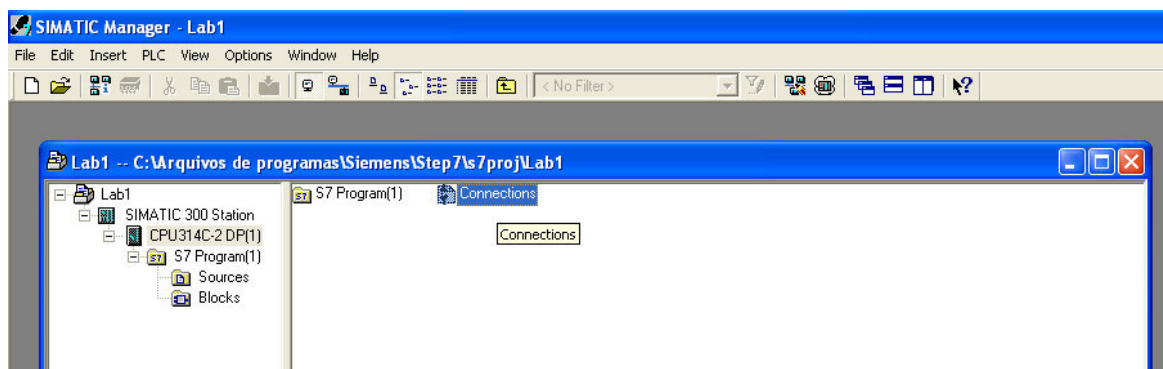


Figura A2: Software Siemens Simatic Step 7

APÊNDICE D - ITS PLC

O ITS PLC Professional Edition - *Interactive Training System for PLC* – é uma ferramenta para a educação e treino da programação de PLC. O ITS PLC oferece cinco sistemas virtuais para a educação, formação e treino da programação de PLC. Cada sistema é uma simulação visual de um sistema industrial que inclui sensores e atuadores (virtuais) para que o seu estado possa ser sentido pelo PLC. O objetivo é programar o PLC para controlar cada sistema virtual como se tratasse de um processo real.

A ferramenta é instalada em um computador convencional, conectado ao equipamento de controle através de uma placa de condicionamento de sinal que utiliza uma placa de aquisição de dados (DAQ) e uma placa de isolamento de sinal. Logo, os sinais elétricos recebidos do sistema virtual são repassados em forma de tensão para os equipamentos de controle através da placa DAQ.

O ITS PLC oferece cinco sistemas de treino baseados em ambientes industriais reais. Cada sistema apresenta problemas típicos que são encontrados durante a programação de PLC. Os sistemas são: *Sorting* – Transportar caixas desde o tapete alimentador até aos elevadores, separando-as por altura; *Batching* – Misturar três tintas de cores primárias (vermelho, verde e azul) de forma a obter uma cor desejada; Paletizador – paletizar caixas em várias camadas; *Pick & Place* – colocar peças dentro de caixas através de um manipulador de três eixos e Armazém Automático – transportar, colocar e retirar caixas da estante.

O sistema de *Sorting* tem o objetivo de transportar caixas desde o cais de entrada até os elevadores, separando-as por altura, como mostra a Figura A3.

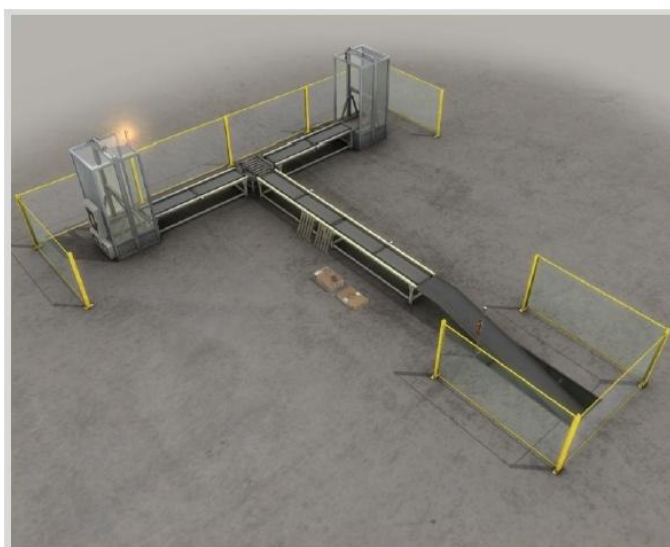


Figura A3: Sistema *Sorting*.

O sistema *Batching* de mistura de tinta, tem o objetivo é misturar três tintas de cores primárias (vermelho, verde e azul) de forma a obter a tinta de cor desejada como mostra a Figura A4.

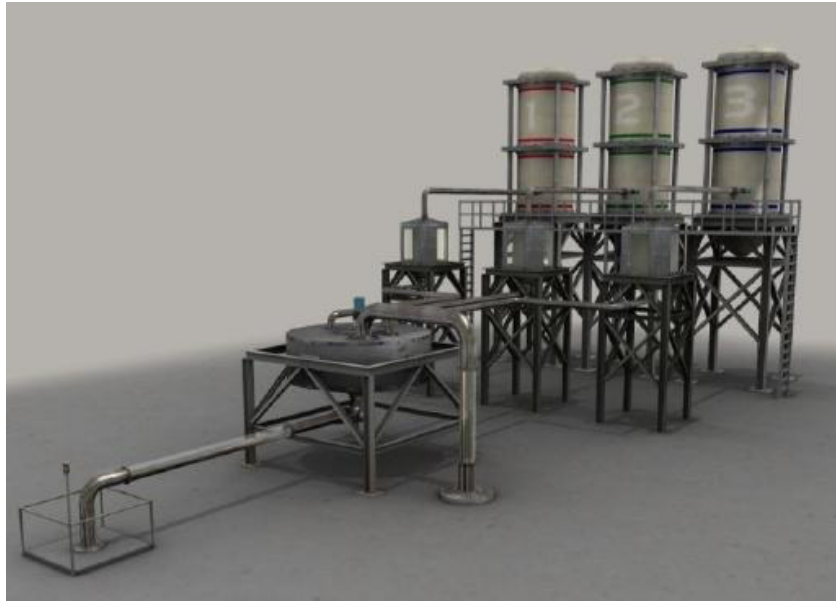


Figura A4: Sistema *Batching*.

O Paletizador é um sistema que simula um paletizador de patamar superior. O objetivo é paletizar caixas até três camadas, como mostra a Figura A5.



Figura A5: Sistema paletizador.

O sistema Pick & Place, o objetivo é colocar peças dentro de caixas através de um manipulador de três eixos, como mostra a Figura A6.

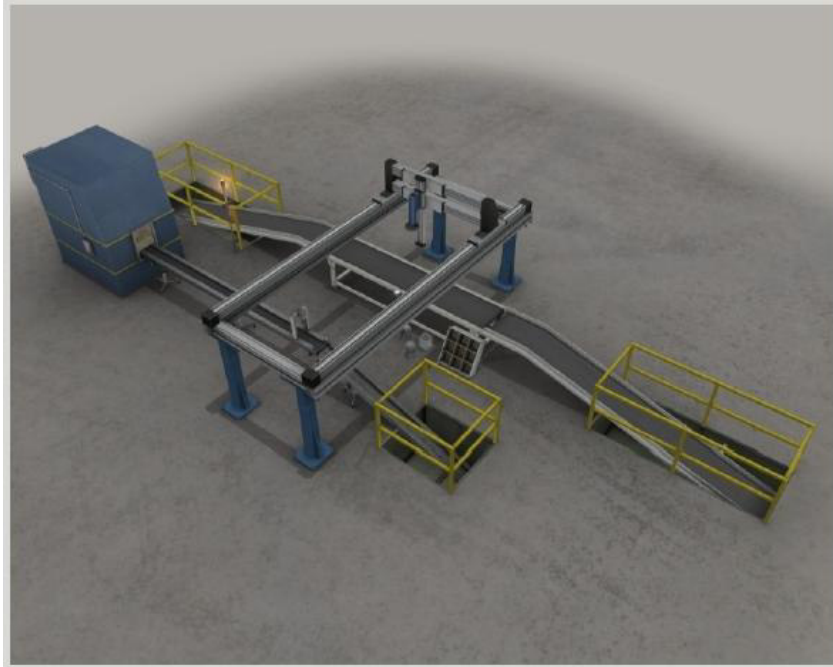


Figura A6: Sistema *Pick & Place*.

APÊNDICE E – TINA – TIME PETRI NET ANALYZER

TINA (Time Petri Net Analyser) é uma ferramenta para verificação formal que consiste em um ambiente para editar e analisar Redes de Petri e outras extensões como Sistemas de Transição Temporizados como mostra a Figura A7.

O software também oferece, além das facilidades usuais de edição e análise, diversas construções de espaço de estados abstratos que preservam classes específicas de propriedades, tais como ausência de deadlocks, propriedades temporais lineares, ou bi-similaridade. Estas construções são divididas em 3 grupos de ferramentas. O primeiro implementa as construções e métodos clássicos (grafo de marcações, grafo de marcações acessíveis e análise estrutural - invariantes). O segundo grupo possibilita o uso de técnicas de redução de ordem parcial a fim de evitar, se possível, a explosão combinatória. O terceiro e último grupo de ferramentas oferece métodos de construções de espaço de estados diferentes para os sistemas temporais, pois geralmente a representação dos seus respectivos espaços de estados não são infinitas.

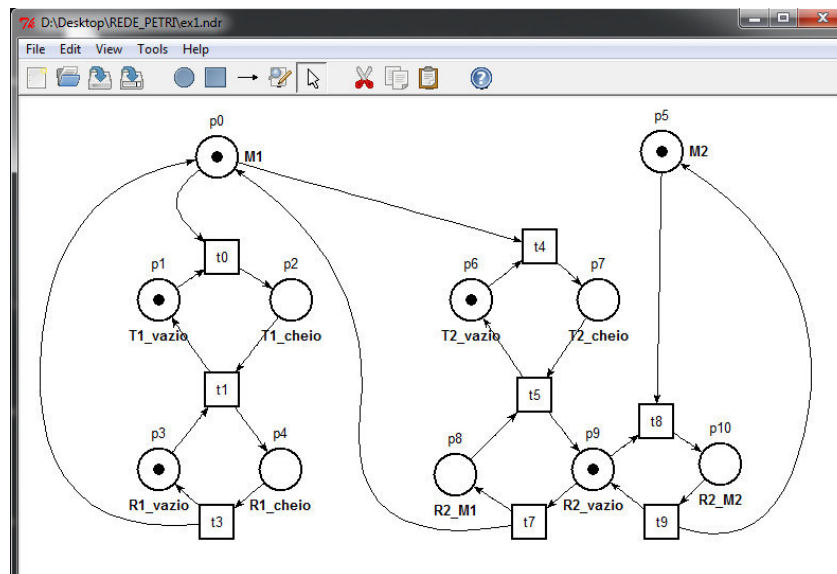


Figura A7: Software TINA

APÊNDICE F – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio

**Questionário para Avaliação do Laboratório Remoto de Automação para
Aprendizagem de Conceitos de Redes de Petri**

1 – Ao utilizar o laboratório remoto, você conseguiu identificar os conceitos teóricos relacionados a tarefa proposta?

SIM NÃO

2 – Você conseguiu aprender com facilidade a utilizar o laboratório remoto para realizar a tarefa proposta?

SIM NÃO

3 – Você conseguiu operar e controlar com facilidade o laboratório remoto para realizar a tarefa proposta?

SIM NÃO

4 – O laboratório remoto foi capaz de despertar sua atenção, bem como mantê-la até o final da tarefa proposta?

SIM NÃO

5 – Qual conceito você atribui a metodologia utilizada pelo laboratório remoto?

Excelente Bom Regular Insuficiente

6 – Caso você tenha alguma sugestão, compartilhe-a conosco:
