

# Apresentação de métodos para implementação de plataformas colaborativas de Sistemas Automatizados de Produção

Ricardo A. Castillo (UNICAMP – SP/Brasil) - rcastillo@fem.unicamp.br  
• R. Mendeleiev, Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, Barão Geraldo, 13083-970, Campinas-SP  
Prof. Dr. João Mauricio Rosário (UNICAMP – SP/Brasil) - rosario@fem.unicamp.br  
Prof. Dr. Humberto Ferasoli Filho (UNESP – SP/Brasil) - ferasoli@fc.unesp.br  
Prof. Dr. Marco Antonio Corbucci Caldeira (UNESP – SP/Brasil) - caldeira@fc.unesp.br

**RESUMO** O desenvolvimento de Sistemas Automatizados de Produção envolve aspectos concernentes à integração de componentes tecnológicos existentes no mercado, dentre eles, Controladores Programáveis (CLP), manipuladores robóticos, sensores e atuadores diversos, sistemas para processamento de imagens, redes de comunicação e sistemas supervisórios colaborativos, integrados numa única aplicação. Este trabalho propõe uma plataforma automatizada de experimentação, implementada através de uma arquitetura típica de um Sistema Automatizado de Produção, que integre os componentes descritos acima, de modo a permitir que pesquisadores e alunos possam realizar atividades práticas de laboratório. Estas atividades irão complementar os conhecimentos teóricos adquiridos pelos estudantes na sala de aula, melhorando, assim, a sua formação e competência profissional. Uma plataforma concebida utilizando esta estrutura genérica permitirá o trabalho dentro de um ambiente educacional, mas que retrata a maioria dos aspectos encontrados num Sistema Automatizado de Manufatura Industrial, tais como, integração tecnológica, redes de comunicação, controle de processos e gestão da produção, com possibilidade de realizar o controle e supervisão do processo automatizado completo através de conexão remota, por meio da *internet* (WebLab), possibilitando o compartilhamento de conhecimento entre diferentes grupos de ensino e pesquisa.

**Palavras-chave** Sistema Automatizado de Produção (SAP); Robótica; Integração.

**ABSTRACT** *Automated Production Systems Development involves aspects concerning the integration of technological components that exist on the market, such as: Programmable Logic Controllers (PLC), robot manipulators, various sensors and actuators, image processing systems, communication networks and collaborative supervisory systems; all integrated into a single application. This paper proposes an automated platform for experimentation, implemented through typical architecture for Automated Production Systems, which integrates the technological components described above, in order to allow researchers and students to carry out practical laboratory activities. These activities will complement the theoretical knowledge acquired by the students in the classroom, thus improving their training and professional skills. A platform designed using this generic structure will allow users to work within an educational environment that reflects most aspects found in Industrial Automated Manufacturing Systems, such as technology integration, communication networks, process control and production management. In addition, this platform offers the possibility complete automated process of control and supervision via remote connection through the internet (WebLab), enabling knowledge sharing between different teaching and research groups.*

**Keywords** *Automated Production System (SAP); Robotics; Integration.*

## 1. INTRODUÇÃO

A integração de dispositivos industriais associados às tecnologias de informação e comunicação (TIC's) motiva o desenvolvimento de novas ferramentas de apoio, focadas no âmbito educacional, permitindo o surgimento de novas abordagens para formação em áreas com uma grande ênfase tecnológica, como no caso da Automação Industrial e a Robótica (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2005; TZAFESTAS *et al.*, 2006).

Dentro desse contexto, o processo de ensino e treinamento eficiente nestas disciplinas, além da fundamentação teórica obtida nas salas de aula, precisa desenvolver-se em laboratórios didático-pedagógicos que possibilitem aos estudantes o desenvolvimento interativo e motivado de conhecimentos, habilidades e atitudes, levando em conta várias áreas correlacionadas de conhecimento tecnológico (D'ABREU, 2002), de tal forma a preparar profissionais competentes para o mercado do trabalho. Este desenvolvimento construtivista de atividades didáticas oferece também um meio propício para que os pesquisadores nestas áreas possam formular e avaliar as suas hipóteses (YU e WEINBERG, 2003).

A relevância das tecnologias presentes no contexto industrial atual, entretanto, faz indispensável o conhecimento aprofundado de forma integrada dentro dos Sistemas Automatizados de Produção (SAP), onde essa integração deve ser apresentada no conteúdo curricular dos cursos direcionados a este domínio, com o intuito de formar profissionais que realmente possam atender às necessidades e ao mercado do setor industrial.

Com o desenvolvimento deste trabalho, se proverá a UNICAMP e UNESP - Bauru de uma plataforma modular com arquitetura de Controle e Supervisão genérica e aberta, baixo custo e funcionalidades operativas diferenciadas da maioria das plataformas existentes; a qual estará orientada a apoiar e complementar a formação integral de estudantes de graduação, pós-graduação e extensão nas áreas de: Controle e Automação, Robótica, Mecatrônica.

A proposta de integração tecnológica em uma única aplicação de arquitetura genérica é validada através da modelagem, análise e desenvolvimento de uma plataforma automatizada de experimentação, que oferecerá a possibilidade de realizar aplicações práticas, em função de modularidade e flexibilidade da arquitetura proposta. Essas práticas vão utilizar a integração de diferentes tecnologias, ao contrário de tecnologias isoladas, normalmente utilizadas nos cursos de Automação e Robótica convencionais. A arquitetura utilizada para a implementação de esta plataforma esta baseada numa arquitetura holônica de Sistema Automatizado de Produção Colaborativo - CSAP/ADACOR (*ADaptive holonic COntrol aRchitecture for distributed manugacturing systems*) (COLOMBO *et al.*, 2004).

A capacidade de realizar o monitoramento e/ou comando do processo completo de montagem que tem lugar na plataforma, por meio de uma conexão remota via rede (Laboratório Remoto - WebLab), permitirá que usuários e grupos de ensino e pesquisa, em diferentes lugares, possam realizar práticas com a plataforma e compartilhar informação rapidamente. Por outro lado, a iniciativa do projeto propõe um dispositivo experimental, que contribui ao aproveitamento dos resultados de grupos isolados de formação e capacitação profissional, acelerando o seu desenvolvimento e gerando, assim, uma massa crítica que melhor atenda à indústria.

Este artigo descreve as principais etapas referentes ao projeto, modelagem e implementação de uma estrutura genérica para uma plataforma colaborativa de Automação, com arquitetura modular e aberta para realização das operações básicas de um Sistema Automatizado de Produção: montagem, manipulação de produtos, inspeção e controle de qualidade. Neste artigo, é apresentada uma descrição da estrutura física e funcionamento da plataforma desenvolvida, com detalhamento das *interfaces* de acionamento, controle e supervisão, apresentando também, as vantagens da metodologia proposta tanto para a implementação em Controladores Programáveis - CLPs, quanto para acrescentar a faixa de atividades educacionais com a plataforma; logo, são descritas as diferentes possibilidades de utilização da plataforma para o ensino, nas áreas de Automação, Robótica, Mecatrônica e Visão Robótica; finalmente são apresentadas as conclusões do trabalho.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na formação tradicional, verifica-se que a preocupação maior está centrada somente na apresentação, na sala de aula, dos conceitos contidos em um currículo, provocando, assim, um distanciamento cada vez maior entre o que é ensinado e a realidade industrial do mundo moderno, fazendo com que o estudante, mesmo compreendendo conceitos teóricos, fique incapaz de desenvolver as competências necessárias para aplicar esses conhecimentos na solução eficiente de um problema (CHENG *et al.*, 2009; COSMA *et al.*, 2003).

O ensino e treinamento adequado em Automação da Manufatura, portanto, além da fundamentação teórica obtida nas salas de aula, precisa desenvolver-se em laboratórios didáticos que possibilitem aos estudantes o aprendizado interativo e motivado de conceitos industriais, contemplando várias áreas de conhecimento tecnológicas correlacionadas (D'ABREU, 2002), de tal forma a preparar profissionais competentes para o mercado do trabalho. Este desenvolvimento de atividades didáticas em Automação e Robótica, segundo uma abordagem construtivista, propicia um ambiente de aprendizagem ativa, na qual o estudante pode formular hipóteses e validá-las por meio da experimentação; esta metodologia de formação é aplicável em uma variedade de engenharias, tais como mecânica, elétrica, mecatrônica, computação, automação e controle (YU e WEINBERG, 2003).

Embora existam no mundo diversos fabricantes de plataformas didáticas de automação para fins de formação e pesquisa, os quais disponibilizam algumas funcionalidades dos respectivos sistemas de controle, essas apresentam elevado custo de aquisição, não seguem uma arquitetura modular e oferecem produtos que não são abertos ao desenvolvimento (SAIRE e GÓMEZ, 2008), não abrangendo normalmente as necessidades esperadas pelos pesquisadores, os quais, para escapar de um ambiente restrito, investem muito tempo em adaptações que acabam prejudicando o resultado final de sua pesquisa. Ressaltam ainda, situações nas quais, por causa das restrições impostas, principalmente pelas características mecânicas próprias e particulares destas plataformas, o resultado fica retido no ambiente experimental, distanciando sua aplicação no mundo real, dificultando, assim, a formação integral em Automação.

Isto direciona a necessidade de desenvolvimento de dispositivos automatizados e ferramentas didáticas de baixo custo, para serem utilizadas em laboratórios de formação e pesquisa, de forma a dotar os centros de P,D & I (Pesquisa, Desenvolvimento e Informação) de capacidades de desenvolvimento e prestação de serviços à comunidade. Neste contexto, uma plataforma didática e modular que permita o estudo e a integração de vários tipos de sensores e atuadores, é bem vinda dentro da citada filosofia de arquitetura aberta e aplicabilidade numa ampla faixa de disciplinas de formação tecnológica; mesmo que o ambiente adotado seja aquele que ofereça um menor custo da base mecânica, porém, permita a formação em automação.

Podemos destacar a implementação em algumas universidades e centros de pesquisa de bancadas de automação, como acontece no Laboratório de Automação Integrada e Robótica da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), que implementou, há alguns anos, em parceria com a SUPEMECA, França, a plataforma PIPEFA (Plataforma Industrial de Ensino, Pesquisa e Formação em Automação); a Universidade Federal do São João Del Rei, em parceria com a empresa Junior EJEL desenvolveu bancadas de apoio acadêmico no campo da automação industrial (D'ABREU, 2002); a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, implementou um sistema de controle programável para sistemas distribuídos, baseado num sistema de produção modular da empresa FESTO™ (SELESKI e OLIVEIRA, 2006) com o intuito de automatizar um processo e aplicar conceitos de distribuição de tarefas, para evitar o controle centralizado.

## 2.1. Projeto e modelagem de sistemas automatizados de produção

A Parte Operativa (PO) corresponde aos componentes físicos (atuadores) que operam sobre os materiais (matérias-primas ou produtos) para transformar, transportar ou armazenar. São componentes constituintes da parte operativa: válvulas, atuadores, cilindros, dentre outros.

A Parte Comando (PC) coordena as ações da parte operativa, para cada máquina ou processo; é necessário escolher, dentre as diferentes tecnologias de comando disponíveis, as mais adequadas e as que melhor se adaptam ao processo e à matéria-prima em questão. Dentre as tecnologias que podem ser usadas para este fim, pode-se citar comandos pneumáticos, hidráulicos, reles, controladores lógicos programáveis, etc. (D'ABREU *apud* INAZUMI, 2000)

A base para a modelagem de Sistemas Automáticos de Manufatura se fundamenta na teoria de sistemas a Eventos Discretos (*Discrete Events Dynamic Systems* - DEDS) e é aplicável não somente para realizar uma análise matemática, mas também para projetar e implementar controladores industriais para estes sistemas (CHARBONIER *et al.*, 1999).

Existem muitas formas para modelar, descrever e especificar DEDS, tais como: Grafcet, Redes de Petri, Linguagens Síncronas, Diagramas Ladder. No contexto deste trabalho, vão ser consideradas duas abordagens para a modelagem do processo da plataforma: GRAFCET (*GRAPhe Fonctionel de Commande Etape Transition*) e Redes de Petri (RdP). O enfoque do Grafcet é adequado para descrever o comportamento entradas/saídas, levando em conta uma representação por meio de variáveis discretas. Os objetivos da metodologia GRAFCET são:

- 1) Permitir a descrição de qualquer Sistema Automatizado Industrial;
- 2) Ser compreensível por qualquer pessoa envolvida em atividades industriais (RHALIBI *et al.*, 1994).

O potencial do grafo funcional GRAFCET reside em sua capacidade para descrever o comportamento do sistema em relação às informações recebidas, de uma forma rigorosa, evitando, assim, incoerências, bloqueios ou conflitos durante o seu funcionamento (ROSARIO, 2005).

Uma Rede de Petri (RdP) é um grafo dirigido e bipartido, composto de dois tipos de vértices (lugares e transições), utilizado para modelar tanto as condições quanto os eventos em DEDS. A modelagem através de RdP é empregada com o intuito de realizar uma análise estrutural e dinâmica (movimentação de recursos) dentro do sistema; a aplicação desse método de modelagem atinge sistemas de computação, produção e comunicação (EL RHALIBI, 1995).

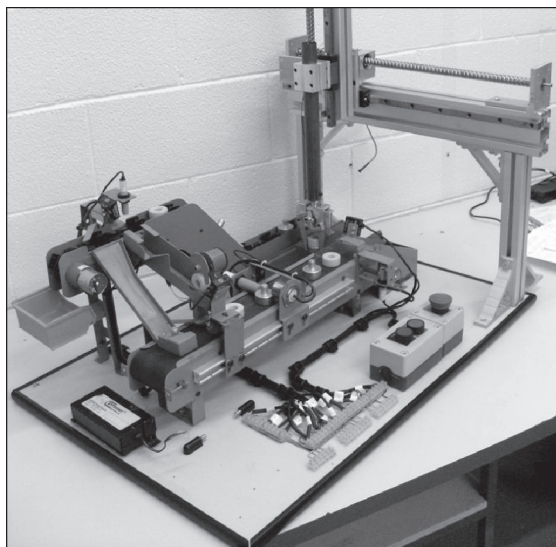
A representação matemática de uma RdP que representa o sistema, é útil para avaliar a controlabilidade do sistema modelado e, por conseguinte, a possibilidade que este possa passar de qualquer um estado ou marcação até outro (PETERSON, 1981).

## 3. MATERIAL E MÉTODO DA PESQUISA

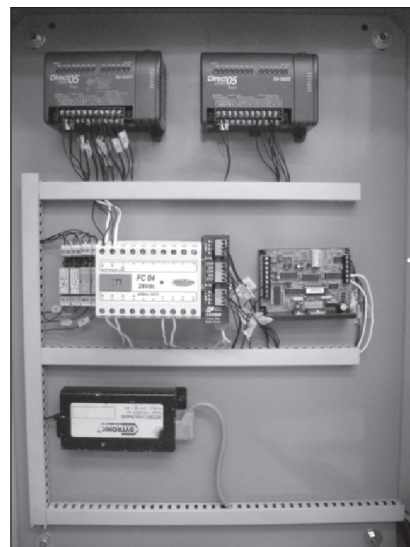
### 3.1. Concepção de uma estrutura genérica de plataforma experimental

Como exemplo de aplicação, é implementada uma plataforma colaborativa UNICAMP, para realizar as operações de montagem, inspeção e movimentação de produtos. Os serviços desta aplicação são disponibilizados na *internet* (WebLab). Esta plataforma é constituída de:

Figura 1 – Célula Automatizada de Produção.



a) Módulo Operativo.



b) Acionamento e Controle

Fonte: CASTILLO (2010).

- Módulo Operativo: É composto da integração de postos de trabalho em uma célula de manufatura, constituída de sensores, atuadores industriais, chaves e botões operacionais (Liga/Desliga, Emergência, Interrupção), controlados através de Entradas/Saídas de um CLP, permitindo, assim, a realização das operações de: classificação, montagem e controle de qualidade do produto. Um manipulador robótico com 2 GL (Grau de Liberdade) permite a realização de movimentos em duas direções e, através de uma garra de preensão, são realizadas operações de alimentação e movimentação de peças (Figura 1a).
- Módulo de Acionamento e Controle: A parte de comando é composta de dois CLPs industriais, sendo o primeiro para controle do dispositivo robótico implementado e o segundo para movimentação completa da esteira, seleção e controle de qualidade (Figura 1b).
- Sistema de Supervisão Remoto: Este módulo é constituído de um sistema supervisório cooperativo, com telas gráficas e um sistema de gestão da produção, permitindo, ainda, o monitoramento via laboratório remoto, utilizando uma rede de comunicação *internet* rápida, possibilitando que estudantes localizados em qualquer parte do mundo, possam realizar atividades práticas com esta plataforma.

Os módulos operativos e de acionamento e controle foram instalados na UNICAMP, enquanto o sistema de supervisão cooperativa e de planejamento de produção deverá ser controlado remotamente na UNESP-Bauru. Essa separação física permitiu a utilização do conceito de empresa colaborativa, integração de diferentes grupos de pesquisa com atividades relacionadas à automação e gestão da manufatura, que considerem desde os aspectos ligados à concepção de um produto e implantação de um sistema automatizado de manufatura até sua integração com os níveis de gerenciamento de produção.

## 3.2. Descrição do módulo operativo

### 3.2.1. Célula automatizada de manufatura

Esta célula de manufatura realiza a montagem de um produto, a partir de dois tipos de peças: uma base metálica de alumínio e um anel de plástico (utilizando sensor indutivo e capacitivo para seleção e inspeção), a ser encaixado na base. Na célula de montagem, as peças têm que passar consecutivamente por várias estações de trabalho: transferência, classificação, montagem, inspeção, visão industrial e movimentação de peças.

### 3.2.2. Manipulador robótico

O processo de produção é iniciado a partir de informações de sensores dispostos na plataforma, permitindo a supervisão e/ou detecção de falta de produtos no armazenamento. A alimentação das peças é realizada por um manipulador robótico, que as coloca na cadeia de alimentação, sobre a qual elas podem ser encaixadas; este processo se repete até completar o número desejado de produtos no estoque; fazendo com que o ciclo seja contínuo. Este robô também é responsável pelo transporte dos produtos montados, desde a esteira transportadora até a zona de armazenamento definitiva ou até a zona de refugo de peças para retrabalho.

O manipulador robótico é do tipo cartesiano de 2 GL (ROSARIO, 2005), acionado através de motores de passo, permitindo o movimento de translação lateral (direção X) e movimento vertical (direção Y). A prensão das peças é realizada a partir da abertura e fechamento de uma garra robótica acionada por outro motor de passo. O manipulador desenvolvido possui, ainda, sensores indutivos para detecção de finais de curso, permitindo o posicionamento inicial de cada GL (Figura 2).

## 3.3. Modelagem do módulo de acionamento e controle

### 3.3.1. Interface de acionamento e controle

Na implementação do módulo de comando foram utilizadas *interfaces* de acionamento e controle baseadas em CLP's industriais e sistema SCADA, implementado em LabVIEW™. Isto permitirá a validação de conceitos básicos relacionados à estruturação e depuração da solução de problemas, utilizando componentes lógicos programáveis (linguagem Ladder), além de facilitar a obtenção da descrição matemática do modelo em estudo (representado através de uma tabela da verdade, mapa de Veitch-Karnaugh ou equações lógicas), o qual deverá ser implementado em circuitos lógicos dedicados (FPGA), com o intuito de desenvolver um sistema modular, reconfigurável e aberto, permitindo, assim, futuras modificações e incremento de novos módulos operativos.

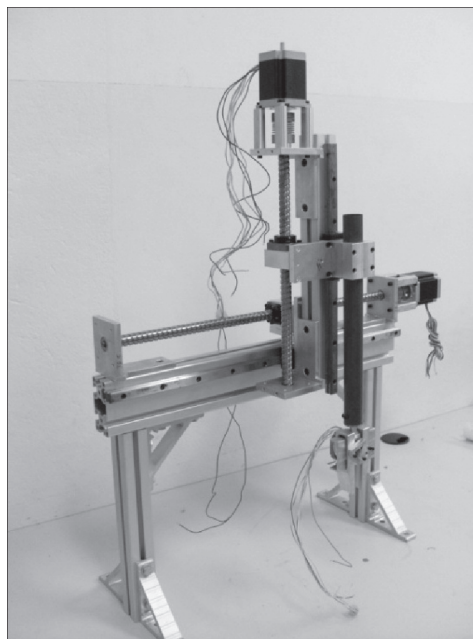
A *interface* de acionamento disponibilizada está orientada a fornecer ao usuário as informações necessárias para ter conhecimento do estado preliminar do processo nas estações de classificação, montagem, inspeção e movimentação e, desta forma, exercer uma ação de controle sobre o sistema, visando uma demanda predeterminada de produtos; na Figura 3, é apresentada a tela do supervisor implementada através do *software* LabVIEW™.

### 3.3.2. Descrição funcional da plataforma

A descrição funcional da plataforma automatizada de produção proposta é constituída dos seguintes passos:

1. Introdução pelo Robô de peças (plástica ou metálica) numa cadeia de alimentação;
2. Movimentação da esteira de transferência até o sistema de classificação;
3. Quando a peça chega ao sistema de classificação (sensor de parada), um sensor detecta se a peça é metálica ou plástica, com as seguintes ações:
  - a) Peça metálica: a mesma é deslocada, através de uma rampa de deslocamento, até a esteira transportadora;

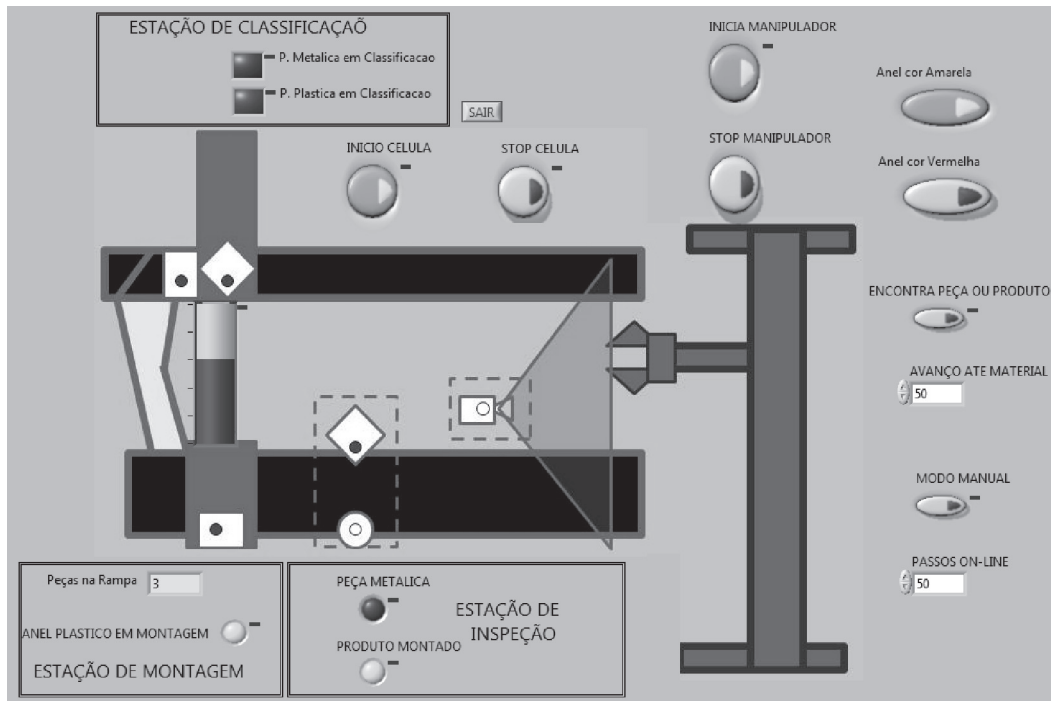
Figura 2 – Manipulador Robótico para movimentação de peças.



Fonte: CASTILLO (2010).

- b) Peça plástica: a mesma é deslocada, através da ação de um solenóide, em direção da rampa de deslocamento até comporta disposta antes do sistema de montagem;
  - c) Não existência de peça plástica no sistema de montagem: a comporta libera a peça plástica para o sistema de montagem.
4. Quando a peça metálica chega ao sistema de montagem, ocorre a operação de montagem;
5. Um sistema de inspeção, baseado em Visão Robótica, permite a verificação da operação de montagem, realizando as seguintes ações:
  - a) Montagem não realizada ou incorreta: a peça ou montagem incorreta é levada para a zona de rejeição, com possibilidade, também, de entrar novamente para a cadeia de alimentação, através de movimentação do robô de manipulação;
  - b) Montagem correta: ela é levada, através do robô de manipulação, para a região de produtos montados.

Figura 3 – Interface de acionamento e controle.



Fonte: CASTILLO (2010).

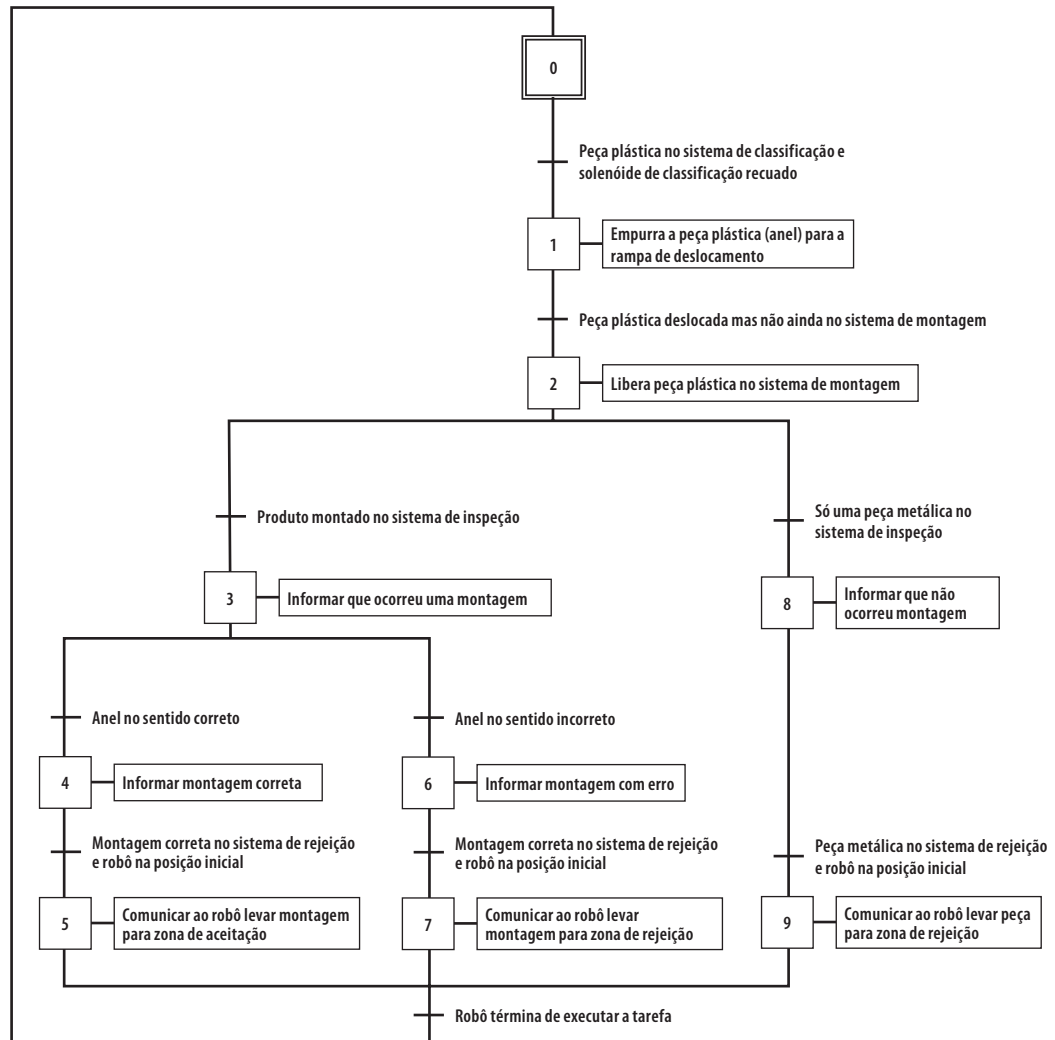
### 3.4. Programa desenvolvido para o CLP

A parte de comando desta plataforma foi implementada nos CLPs industriais, utilizando linguagem com Lógica de Contatos Ladder, estruturada a partir de GRAFCET. Conseqüentemente, a modelagem da plataforma completa foi realizada dividindo seu funcionamento em dois sub-processos, correspondentes à célula de montagem de peças e manipulação robótica. Essa separação das atividades permite ao usuário programar cada sub-processo em um CLP diferente. Na Figura 4, pode-se observar a especificação em GRAFCET do sub-processo da célula de montagem.

Com esta divisão, pode-se alcançar uma maior modularidade e, portanto, a possibilidade de reconfigurar e trabalhar mais rápido e facilmente com qualquer uma das duas partes do processo, possibilitando-se uma faixa maior de atividades que podem se realizar para a formação (em automação, utilizando a célula de montagem e/ou em robótica com o manipulador robótico). Além de cada parte implementada, como um módulo independente, é possível testar diferentes modelos de comunicação entre os CLP, ampliando ainda mais a utilidade da plataforma.



Figura 4 – Especificação GRAFCET funcional do sub-processo da célula de montagem.



Fonte: CASTILLO (2010).

A especificação realizada em GRAFCET leva em conta que o funcionamento do sistema tem um ciclo de trabalho contínuo, desde o acionamento do botão de início até receber uma entrada de qualquer um dos botões: de parada ou de emergência. De fato, o processo de integração do produto deve continuar, caso qualquer outra peça apareça na esteira transportadora; por isso, se faz necessário definir sub-rotinas, de tal forma que possam ser executadas de maneira concorrente.

### 3.4.1. Modelagem do processo na plataforma, utilizando Redes de Petri (RdP)

Dentro deste contexto, a modelagem com RdP, proposta neste trabalho, é realizada como parte do método desenvolvido para garantir que as atividades experimentais propostas com a plataforma, sejam realmente plausíveis de propor e implementar. Uma RdP é uma 5-tupla,  $PN = (P, T, V, W, M_0)$  onde:

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$  é um conjunto finito de lugares

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  é um conjunto finito de transições

$V \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$  é um conjunto de vértices onde  $P \cap T = \emptyset$ ;  $P \cup T \neq \emptyset$

$W : F \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$  é uma função de pesos

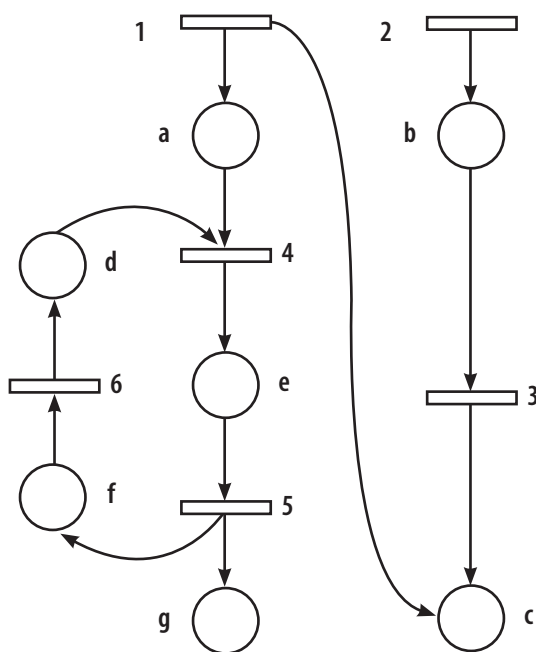
$M_0 = P \rightarrow \{0, 1, 2, 3, \dots\}$  é uma marcação inicial

O funcionamento do processo no sistema de classificação pode ser descrito em termos do seu estado inicial e sua evolução (Quadro 1, Figura 5).

Quadro 1 – Condições e eventos na estação de classificação.

Condições na estação de classificação	Eventos na estação de classificação
a) Peça plástica passando através da estação de classificação	1) Segundo sensor detecta peça
b) Peça metálica passando através da estação de classificação	2) Primeiro sensor detecta peça
c) Peça metálica está fora da estação de classificação	3) Peça metálica sai da estação de classificação
d) Solenóide de classificação recuado	4) Solenóide de classificação começa saída
e) Solenóide de classificação saindo	5) Solenóide de classificação termina saída
f) Solenóide de classificação avançado	6) Solenóide de Classificação Recua
g) Peça plástica se deslocando através da rampa	

Figura 5 – Modelagem em RdP do processo na estação de Classificação.



Fonte: CASTILLO (2010).

A representação matemática desta RdP é uma matriz  $A_c$  de tamanho  $(n \times m)$ , sendo  $n$  o número de transições e  $m$  o número de lugares. Neste caso  $n = 6$ ,  $m = 7$ . A matriz  $A_c$ , chamada de matriz de incidência da estação de classificação, é:

$$A_c = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

Analisando o range da matriz do processo completo, formada pela composição das matrizes de incidência de todas as estações da plataforma automatizada, pode-se garantir que o processo parcial ou total que tem lugar na plataforma é controlável, conseqüentemente, será possível propor uma atividade, visando supervisionar e controlar, de forma presencial e/ou remota, este processo.

### 3.5. Sistema de Supervisão Remoto

Um laboratório remoto é constituído de um conjunto de dispositivos físicos, que podem ser operados e controlados a distância, por meio de uma *interface* determinada (Figura 6). Estes equipamentos podem ser didáticos e/ou versões de laboratório de dispositivos industriais; a administração destes laboratórios geralmente requer de servidores, para gerenciar tanto a utilização do sistema pelos usuários quanto os equipamentos integrados nesse sistema (ABELSON, 2008).

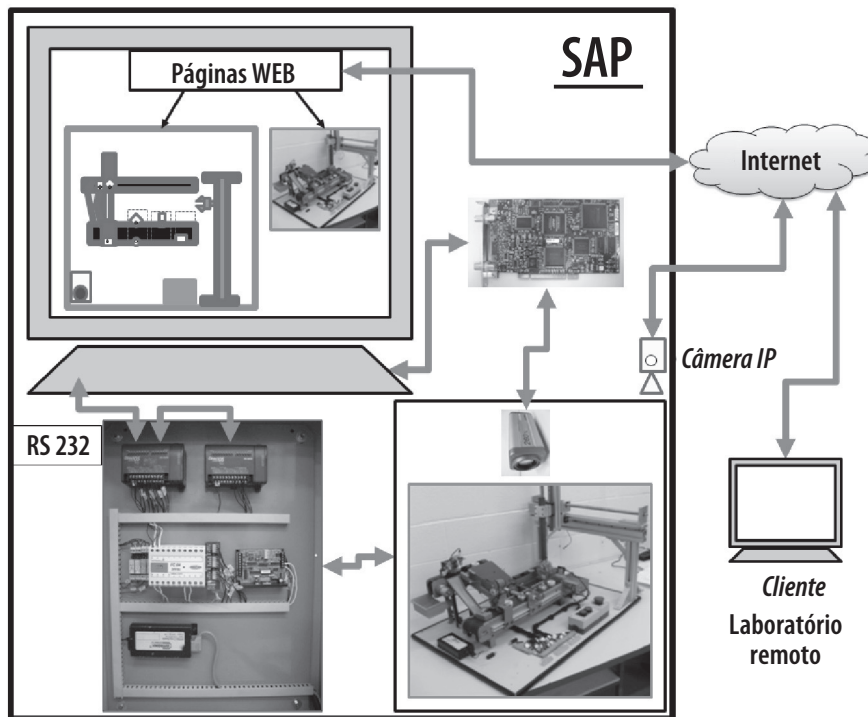
O sistema de supervisão, controle e acesso WEB da plataforma permitirá um monitoramento local e a distância do funcionamento da plataforma; neste sistema, o estudante terá a possibilidade de escolher, entre varias opções, a prática que deseja realizar para acompanhar o seu processo de formação; na Figura 6 é apresentado o diagrama completo da plataforma, junto com o sistema de supervisão e controle via *internet*. O *software* de supervisão mostrará, de maneira gráfica, a evolução, permitindo a administração do processo; este *software* será desenvolvido em linguagem LabVIEW™ e deverá ser estruturado através de bibliotecas básicas, sendo criadas de forma esquemática e modular as seguintes fases:

- i) Comunicação: Permite a troca de informações entre os diferentes elementos da célula automatizada, através de uma plataforma computacional eficiente, no sentido de tornar mais flexível a formação e o estudo de novas e tradicionais arquiteturas de controle. O sistema de comunicação deverá suportar o volume de informações oriundo dos vários sensores e garantir o tratamento em tempo adequado, segundo o ambiente definido.
- ii) Aprendizagem: Implementação de funções básicas para a movimentação e inicialização do dispositivo.

### 3.6. Arquitetura de integração *hardware* e *software*

A escolha da arquitetura para a integração das tecnologias considera duas perspectivas: um ponto de vista tecnológico e outro pedagógico. Desde um ponto de vista tecnológico, a integração das cinco tecnologias descritas visa alcançar uma representação fiel da arquitetura CSAP, que predomina nos sistemas de manufatura atuais, a qual possa oferecer não só a possibilidade de um controle centralizado, mas também permita certo nível de autonomia entre os sub-sistemas componentes, sem perder completamente a colaboração e cooperação entre estes (controle descentralizado ou distribuído). Procura-se propor uma estrutura genérica, nas suas partes de comando, e operativa, que tenha um alto grau de flexibilidade, modularidade e reconfigurabilidade, que seja aberta (*Hardware-Software*) a qualquer melhoramento ou modificação futura tanto da parte operativa quanto da parte de comando (estrutura e lógica de programação).

Figura 6 – Sistema de Supervisão e Controle Remoto da Célula Automatizada.

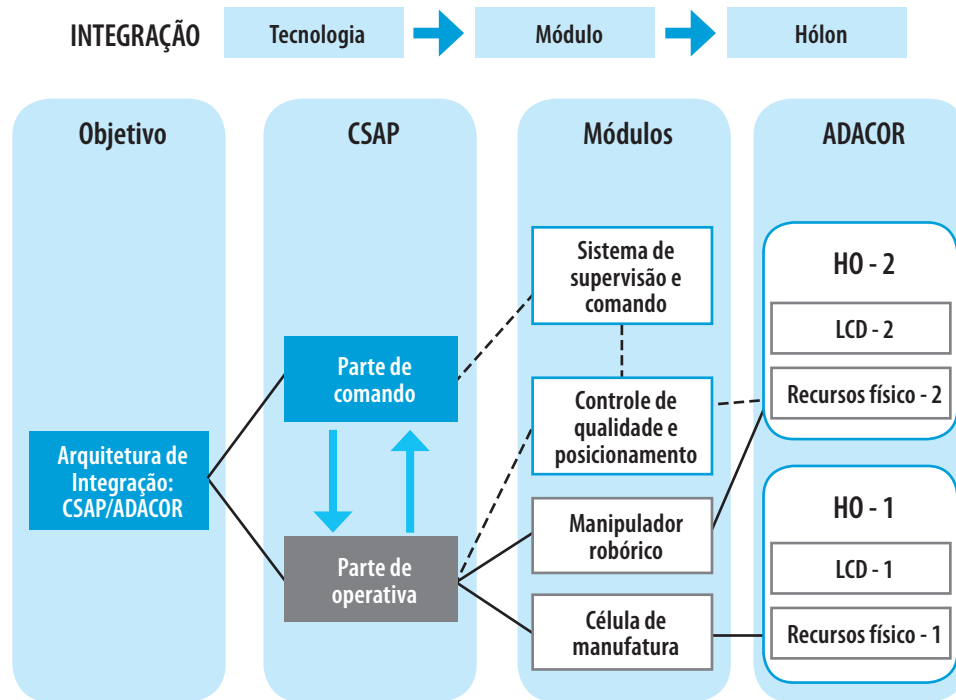


Fonte: CASTILLO (2010).

No sentido de satisfazer estas necessidades, foi selecionada uma arquitetura colaborativa – holônica do tipo ADACOR, focada ao sistema de supervisão e controle, como também para a integração dos módulos tecnológicos (*Hardware*), com o intuito de formar *hólons* completos. Esta estrutura permite maior flexibilidade e adaptação às mudanças do entorno; apresenta também, características de reutilização, tolerância a falhas, atenção a objetivos de manufatura locais e globais, arquitetura de controle distribuída e descentralizada e facilidades de ampliação e modificação (Figura 7).

As tecnologias industriais são integradas através de dois níveis de modularidade; em um primeiro nível (macro), estes são associados para formar um Sistema Automatizado de Produção Colaborativo CSAP, e, ainda, procurando uma consideração de modularidade ainda maior; em um segundo nível (micro), este conceito é levado também ao interior das partes constituintes do CSAP, o que é atingido definindo agentes totalmente funcionais, integrando-se em uma arquitetura hierárquica - holônica tipo (ADACOR) (LEITAO *et al.*, 2006) dentro da plataforma, que pode ser programado de forma ao *hólon* executar processos de maneira independente, mas também colaborativa, de modo a alcançar objetivos conjuntos. Nesse caso, a integração é gerenciada em um nível superior por um sistema de supervisão e comando.

Figura 7 – Arquitetura de sistema automatizado de produção colaborativo e holônico CSAP/ADACOR.



Fonte: CASTILLO (2010).

## 4. CONCLUSÕES E RESULTADOS OBTIDOS

Neste artigo, foram apresentados conceitos de Sistemas Automatizados de Produção, como também as formas existentes de apoio aos processos de formação e pesquisa em automação e robótica; identificando como este trabalho está inserido dentro do paradigma de interação com tecnologias integradas, através da realização de atividades práticas com plataformas automatizadas de arquitetura aberta, de forma a desenvolver um ambiente de aprendizagem multitecnológico colaborativo e cooperativo.

As características de flexibilidade e modularidade foram consideradas na etapa da concepção desta arquitetura, de modo a atender a duas perspectivas: tecnológica e pedagógica. A possibilidade de funcionamento e controle distribuído da arquitetura, a reconfigurabilidade e escalabilidade *hardware-software*, e a utilização de lógica reprogramável estruturada promovem uma variedade de atividades práticas, incrementando o nível de complexidade ao mesmo tempo que aumenta o grau de integração e disponibilização de laboratórios remotos para atividades práticas.

A modelagem de cada uma das estações, como um sistema a eventos discretos (SED) utilizando RdP, permitiu realizar uma análise formal (matemática) dos seus modelos, sendo utilizada a matriz de incidência para representar a parte estática do modelo e as marcações inicial e final para representar a parte dinâmica de uma proposta de funcionamento.

A integração da plataforma, através de uma arquitetura ADACOR, permitiu que esta tivesse uma parte de comando genérica, independente dos recursos físicos utilizados na implementação dos *hólons*, possibilitando assim, a rapidez e facilidade na troca dos recursos físicos associados a cada um dos *hólons*, conservando, ao mesmo tempo, os estágios lógicos do programa implementado em CLP.

Através da implementação da célula automatizada de manufatura, podemos contar com uma ferramenta didática de arquitetura completamente aberta, reconfigurável, escalonável, com forte integração de sensores e atuadores numa única plataforma, permitindo ao aluno trabalhar numa

ampla gama de situações reais, ao abordar problemas de mecatrônica, manufatura integrada e gestão da produção, complementando-se, assim, os conceitos teóricos e tecnológicos estudados na sala de aula, constituindo, assim, uma ferramenta para apoio na formação e pesquisa nas áreas de Automação da Manufatura.

Outro aspecto a ser considerado é a implementação da plataforma constituída da união de dois grandes subsistemas: célula de manufatura e manipulador robótico, onde cada um desses poderá ser utilizado em práticas individuais, estabelecidas pedagogicamente, que associam o processo de integração de peças com um sistema supervisorio, implementado em LABVIEW™, para monitoramento e controle da bancada, usando o modelo de laboratórios virtuais, de tal forma que poderá ser utilizada por usuários conectados através da *internet*. Finalmente, através do desenvolvimento deste trabalho, se permitirá:

- a) Aprimoramento dos conhecimentos teóricos de estudantes e pesquisadores, a partir da realização de práticas de testes e validações, utilizando a plataforma didática;
- b) A modularidade da plataforma permite o desenvolvimento de atividades, visando à formação e pesquisa nas grandes áreas descritas a seguir:
  - Automação: Práticas de novas tecnologias em automação, arquiteturas de supervisão e controle, integração de sistemas, módulos eletro-eletrônicos de controle, através de eletrônica reprogramável, estruturada, com ênfase na estruturação e minimização de funções lógicas.
  - Robótica: Realização de práticas utilizando o manipulador robótico, contemplando aspectos de modelagem cinemática e dinâmica, planejamento e controle de trajetórias.
  - Visão Robótica: Desenvolvimento de sistemas de avaliação e supervisão para aquisição de imagens e técnicas de identificação, para inspeção e controle de qualidade de produtos.
  - Mecatrônica: Possibilitar a integração dos subsistemas da plataforma com os *softwares* industriais, permitindo a modificação das funções implementadas.
- c) experiência no projeto e concepção de plataformas de arquitetura aberta para o ensino da Automação e Robótica, levando-se em consideração:
  - Projeto do sistema de controle, do *hardware* e do *software* de comando;
  - Dimensionamento de arquiteturas e escolha dos equipamentos;
  - Programação estruturada de controladores programáveis;
  - Utilização de *software* para a supervisão e controle de movimentos.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABELSON, H.; LONG, P. D. MIT's Strategy for Educational Technology Innovation, 1999–2003. *Proceedings of the IEEE*, v. 96, n. 6, p. 1012-1034, Jun. 2008.

CASTILLO, R. **Proposta de Arquitetura de Supervisão e Controle para uma Plataforma Automatizada (WebLab) orientada à Formação e Pesquisa em Automação e Robótica**. Campinas, 180 p. Dissertação (Mestrado), UNICAMP, 2010.

CHARBONNIER, F.; ALLA, H.; DAVID, R. The Supervised Control of Discrete-Event Dynamic Systems. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, v. 7, n. 2, p. 175-187, Mar. 1999.

CHENG, I.; BASU, A.; GOEBEL, R. Interactive Multimedia for Adaptive Online Education. *IEEE Multimedia*, v. 16, n. 1, p. 16-25, Jan. 2009.

COLOMBO, A.; SCHOOP, R.; LEITÃO, P.; RESTIVO, F. A Collaborative Automation Approach to Distributed Production Systems. *Proceedings of 2nd IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN'04)*, v.1, p. 1-6, Jun. 2004

COSMA, C.; CONFENTE, M.; BOTTURI, D.; FIORINI, P. Laboratory Tools for Robotics and Automation Education. **Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics & Automation**, Taipei - Taiwan, v. 3, p. 3303-3308, Sep. 2003.

D'ABREU, J. V. **Integração de Dispositivos Mecatrônicos para Ensino-Aprendizagem de Conceitos na Área de Automação**. Campinas, 309 p. Tese (Doutorado), UNICAMP, Campinas, 2002.

DOMÍNGUEZ, M.; REGUERA, P.; FUERTES, J. J. **Laboratorio Remoto para la Enseñanza de la Automatica em la Universidad de Leon, Comité Español de Automatica**, ISSN: 1697-7912, Vol. 2, pp. 36-45, Abril 2005.

LEITÃO, P.; COLOMBO, A.; RESTIVO, F. A Formal Specification Approach for Holonic Control Systems. The ADACOR Case. **International Journal of Manufacturing Technology and Management**, v. 8, n. 3, p. 37-57, 2006.

PETERSON J. L. **Petri Net Theory and the Modeling of Systems**. 1st ed. Prentice Hall, 1981. 288 p. ISBN: 0136619835.

RHALIBI, A EL; PRUNET, F; DURANTE, C. Analysis of function charts for control systems using Petri nets. **IEEE Symposium on Emerging Technologies and Factory Automation**, ETFA '94., Tokyo, Japan, p. 365-372, 6 Nov. 1994.

ROSARIO, J. M. **Princípios de Mecatrônica**. 1st ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2005. 368 p. ISBN: 8576050102.

SAIRE, A.; GÓMEZ, H. Plataforma de aprendizaje a distancia en automatización industrial empleando laboratorios remotos, **Invest APL Innov**, Vol. 2, No.2, 2008.

SELESKI, F.; OLIVEIRA, L. Projeto de sistemas de controle programável de sistemas produtivos distribuídos, **Synergismus scyentifica**, UTFPR, pp. 1-778, Pato Branco., 2006.

TZAFESTAS, C. S.; PALAIOLOGOU, N.; ALIFRAGIS, M. Virtual and Remote Robotic Laboratory: Comparative Experimental Evaluation. **IEEE Transactions On Education**, v. 49, n. 3, p. 360-369, Aug. 2006.

YU, X.; WEINBERG, J. B. Robotics in education: new platforms and environments. **IEEE Robotics & Automation Magazine**, v. 10, n. 3, p. 3, Sep. 2003.

