

SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS PARA TREINAMENTO EM SISTEMAS DE CONTROLE

João José de Assis Rangel

UCAM-Campos

joao@ucam-campos.br

Amanda Arêas de Souza

IFF

areas_amanda@hotmail.com

Patrick Júnior Teixeira Bastos

IFF

patrickbastos01@gmail.com

Rodrigo César Teixeira Baptista

UCAM-Campos

rodbap80@gmail.com

Resumo

O presente trabalho apresenta um modelo de simulação a eventos discretos integrado a um módulo de controle de um sistema de transporte e seleção com esteira, tipicamente utilizado em plantas industriais automatizadas. O modelo de simulação foi desenvolvido em Arena e comparado com outro modelo de simulação do mesmo sistema, utilizado em kits didáticos para treinamento de estudantes em lógicas de controle. Os resultados mostraram que é viável e relativamente simples a aplicação dos ambientes de desenvolvimento de modelos de simulação a eventos discretos para a aplicação em sistemas de treinamento com Controladores Lógicos Programáveis (CLP). O modelo de simulação desenvolvido mostrou-se semelhante ao que é normalmente utilizado em aulas de sistemas de controle, além de permitir maior interatividade do aluno com o simulador.

Palavras-chave: Simulação a eventos discretos, Controle, Treinamento, CLP.

Abstract

This paper presents a discrete event simulation model integrated with a control module of a transport system and selection with the wake, typically used in automated industrial plants. The simulation model was developed in Arena and compared with another simulation model of the same system used in teaching kits for training of students in control logic. The results showed that it is feasible and relatively simple the application of the development environments of models of discrete event simulation for the use in training systems with Programmable Logic Controllers (PLC). The simulation model developed was similar to what is normally used in classes of control systems, and allows more interactivity of the student with the simulator.

Key words: Discrete event simulation, Control, Training, PLC.

1. Introdução

A simulação a eventos discretos (ou simulação discreta) teve grande expansão nas últimas quatro décadas, ganhando contorno científico bem definido em congressos e periódicos especializados no assunto. Da mesma forma, acompanhando este crescimento, vieram os ambientes de simulação discreta como o Arena, ProModel e Simul8, citando apenas alguns dos mais utilizados no Brasil, dentre dezenas de outros semelhantes de uso internacional. Estes ambientes de simulação possuem hoje estrutura para desenvolvimento de alto nível, com linguagem de programação integrada ao ambiente gráfico. Com isto, sistemas discretos no tempo são analisados com alto grau de detalhes, podendo-se avaliar o comportamento dinâmico e estocástico com as respectivas regras operacionais de forma visual e descritiva.

Por outro lado, em recentes trabalhos de Silva e Rangel (2011) e Rangel *et al* (2011), foi demonstrado que os ambientes de simulação discreta também podem ser utilizados no desenvolvimento de simuladores para fins didáticos como uma linguagem de programação de propósito geral. Os autores construíram modelos de simulação no ambiente de “desenvolvimento” do Arena para a demonstração, em aula, de conceitos de Telecomunicações e Física, respectivamente. Estes trabalhos propuseram uma forma alternativa e relativamente simples de se construir simuladores de auxílio didático (os conhecidos kits didáticos de simulação). Assim, ao invés de se utilizar “kits didáticos” comerciais para auxiliar o aprendizado, o professor pode construir os seus próprios simuladores. Desta forma, este mesmo docente, com treinamento específico em um dos ambientes de desenvolvimento de simulação discreta, poderá construir os seus kits didáticos, de acordo com as suas necessidades.

Destaca-se que, do ponto de vista da animação visual do sistema, que é o que realmente interessa nestas situações, a utilização dos ambientes de simulação discreta é simples de se aprender. E, partindo do princípio de que o professor já conheça os conceitos relativos aos itens a serem lecionados, ele poderá elaborar os modelos de simulação com a complexidade que queira dar, tanto quanto for a sua capacidade de criação. Outro quesito de destaque é o fato de que os exemplos apresentados nos trabalhos de Silva e Rangel (2011) e Rangel *et a.* (2011) foram feitos utilizando a versão livre de custos dos respectivos softwares, demonstrando assim, o potencial de desenvolvimento destes ambientes também para este fim.

Outra vertente para aplicação dos ambientes de simulação discreta, iniciada há mais de uma década, é a possibilidade de integração de modelos de simulação com sistemas de controle. Devido ao aumento da capacidade de processamento dos sistemas computacionais atuais (hardware e software), modelos de simulação discreta têm sido utilizados em larga escala para avaliar e testar também sistemas de controle automático, minimizando riscos e custos. Para facilitar a visualização e amplitude dos trabalhos sobre este assunto, foi elaborado o Quadro 1 mostrado no Apêndice I. O respectivo Quadro apresenta em ordem cronológica alguns dos principais trabalhos publicados ao longo de quase duas décadas sobre este tema. A busca foi realizada nas seguintes bases de dados: *Science Direct*, *Scielo* e *Google Acadêmico*.

Os diversos trabalhos apresentados no Quadro 1 demonstram que a utilização dos ambientes de simulação discreta são uma alternativa viável para testar sistemas de controle, onde a dinâmica das operações com as características de eventos discretos e estocásticos podem ser analisados. Entretanto, note que no Brasil ainda são poucos os

trabalhos neste tema. Destaca-se aí o trabalho de Rangel e Carvalho (2011), onde foi avaliado um modelo de simulação discreta de uma planta industrial de abastecimento de ácido clorídrico integrado ao sistema de controle de nível do respectivo processo. Os resultados, segundo a percepção da equipe de automação da empresa, confirmaram ser útil a aplicação do referido mecanismo para teste em sistemas de controle industriais.

Desta forma, o objetivo do presente trabalho é o de apresentar um ambiente de treinamento de lógicas de sistemas típicos de controle automático de processos industriais utilizando um modelo de simulação a eventos discretos. O presente trabalho propôs a utilização do ambiente de desenvolvimento de modelos de simulação discreta do Arena para ser empregado na construção de um simulador didático para uso no ensino de programação de controladores lógicos programáveis (CLP) de sistema de controle automático. O objetivo do trabalho se justificou pelo fato de ser freqüente a utilização de simuladores didáticos para o ensino de lógicas de controle de sistemas automatizados.

2. Softwares para Desenvolvimento de Modelos de Simulação

Banks *et al* (2009) definem os softwares para desenvolvimento de modelos de simulação em três categorias. Primeiro, existem as linguagens de programação de propósito geral, tais como C, C++, Java, dentre outras. Segundo, existem as linguagens de programação para modelos de simulação, exemplos GPSS e SIMAN. Terceiro, existem os ambientes de simulação. Esta categoria inclui vários produtos onde o desenvolvedor do modelo de simulação encontra ali todos os recursos para a construção de seus modelos, como interface gráfica amigável, complementos para análise de dados de entrada, saída, otimização, dentre outros recursos auxiliares.

Em um ambiente de simulação discreta, o desenvolvedor normalmente não necessita entrar com linhas de código durante a construção de seus modelos. Também, de forma bem amigável, ele encontra nestes ambientes todos os recursos para a animação de seus modelos. Desta forma, pode-se construir um modelo de simulação com animação, de forma rápida e segura, podendo-se considerar ainda um alto grau de detalhes do sistema em análise.

3. Simulador Didático para Sistemas de Controle Automático

Este item descreve um simulador didático normalmente utilizado para treinamento de estudantes em lógicas de controle automático. O referido simulador é composto de um total de cinco módulos com sistemas de processos tipicamente empregados em instalações industriais. Este simulador, denominado ITS PLC *Professional Edition* (Sistema Interativo de Treino de Controlador Lógico Programável), possui em um dos seus módulos um sistema de transporte e seleção com esteira. O ITS PLC é uma ferramenta didática que propicia a programação de controladores em tempo real para treinamento de estudantes através de simulações que imitam plantas industriais comuns.

A Figura 1 apresenta o módulo do Sistema de Transporte com Esteiras, que será o objeto de avaliação deste trabalho. Este módulo caracteriza-se como um típico sistema a eventos discretos utilizado comumente em diversas situações industriais. É composto por onze sensores e sete atuadores virtuais. A troca de informação entre o

CLP e o sistema virtual desse ambiente de simulação é realizada através de uma placa de aquisição de dados (DAQ) com 32 canais de entrada e saída isolados e interface de comunicação tipo USB.

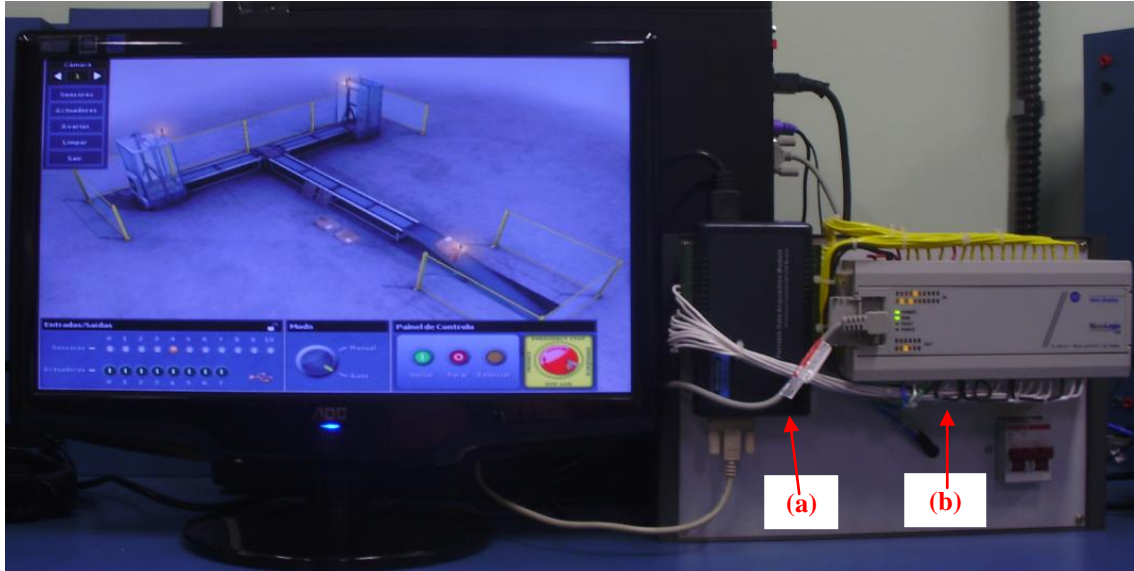


Figura 1 – Conjunto ITS PLC *Professional Edition*: (a) DAQ e (b) CLP (Allen Bradley)

Já a Figura 2 descreve em detalhes o funcionamento do respectivo sistema. O objetivo é transportar peças desde o cais de entrada até os elevadores, separando as peças por altura. O sistema é constituído por um cais de entrada, mesas transportadoras e dois cais de saída. O tapete alimentador (A) transporta peças pequenas ou grandes que são fornecidas aleatoriamente. As peças são encaminhadas pelas mesas transportadoras (B) até a mesa rotativa (C) sendo carregadas através dos rolos (D). De acordo com a altura das peças detectada por sensores, as mesmas são rodadas 90° pela mesa rotativa (C) e descarregadas através dos rolos (D) para as mesas transportadoras (E ou G). Finalmente, as caixas são enviadas para os elevadores automáticos (F ou H).

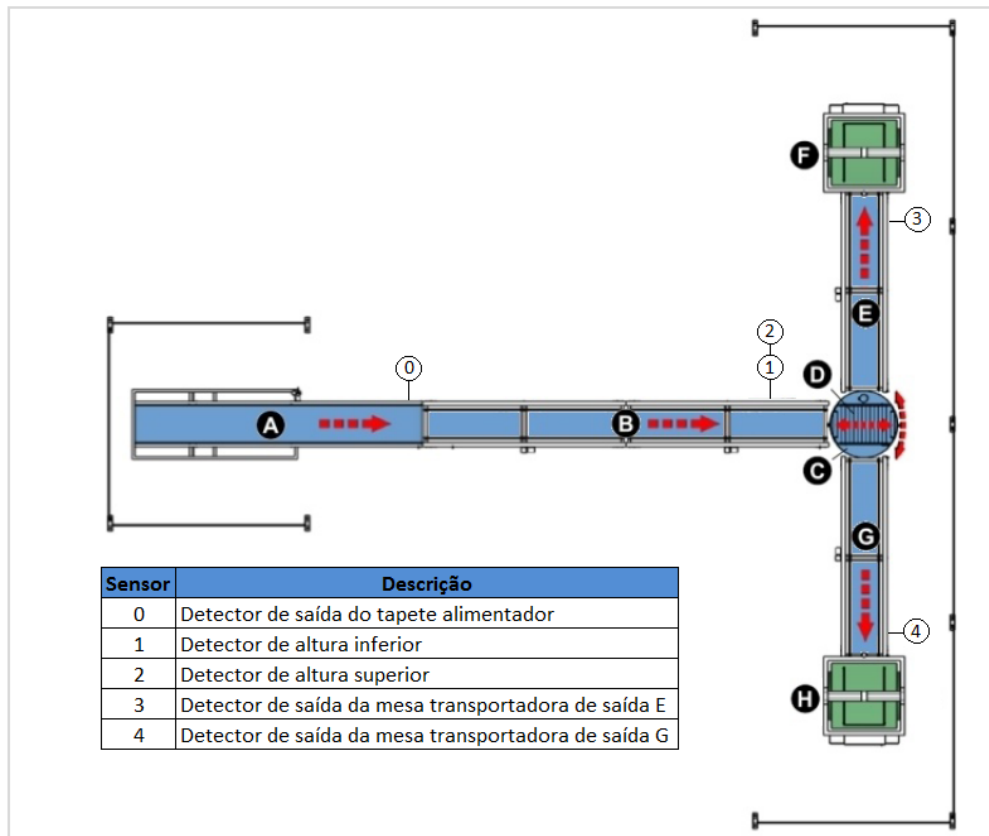


Figura 2 - Sistema de Transporte com Esteira e tabela de sensores.

4. Simulador em Arena[®]12 do Sistema de Transporte com Esteira

Este item descreve o modelo de simulação do Sistema de Transporte com Esteira construído com o ambiente de desenvolvimento do Arena[®]12. O objetivo aqui foi o de se avaliar o grau de dificuldade para construção do sistema de treinamento com transporte e seleção com esteiras, semelhante ao ITS PLC, utilizando um ambiente de desenvolvimento de sistema a eventos discretos.

O modelo de simulação foi desenvolvido orientado pela metodologia proposta por Banks *et al* (2009), seguindo os seguintes passos específicos para este trabalho: formulação e análise do problema; planejamento do projeto; modelo conceitual; tradução do modelo conceitual; verificação e validação; experimentação; interpretação e análise de resultados; documentação e apresentação dos resultados testes. O modelo conceitual do sistema foi traduzido para o software Arena[®]12 para construção do modelo de simulação (KELTON, SADOWSKI e STURROCK, 2007). As simulações apenas foram iniciadas após a verificação e validação por completo do modelo, garantindo que os pressupostos e as hipóteses estavam corretamente implementados no modelo computacional (SARGENT, 2007).

A Figura 3 mostra o modelo conceitual do sistema e o Quadro 2 apresenta as informações referentes às regras operacionais e aos tempos dos processos. Utilizaram-se os elementos do IDEF-SIM (MONTEVECHI *et al*, 2010) para descrição do modelo conceitual.

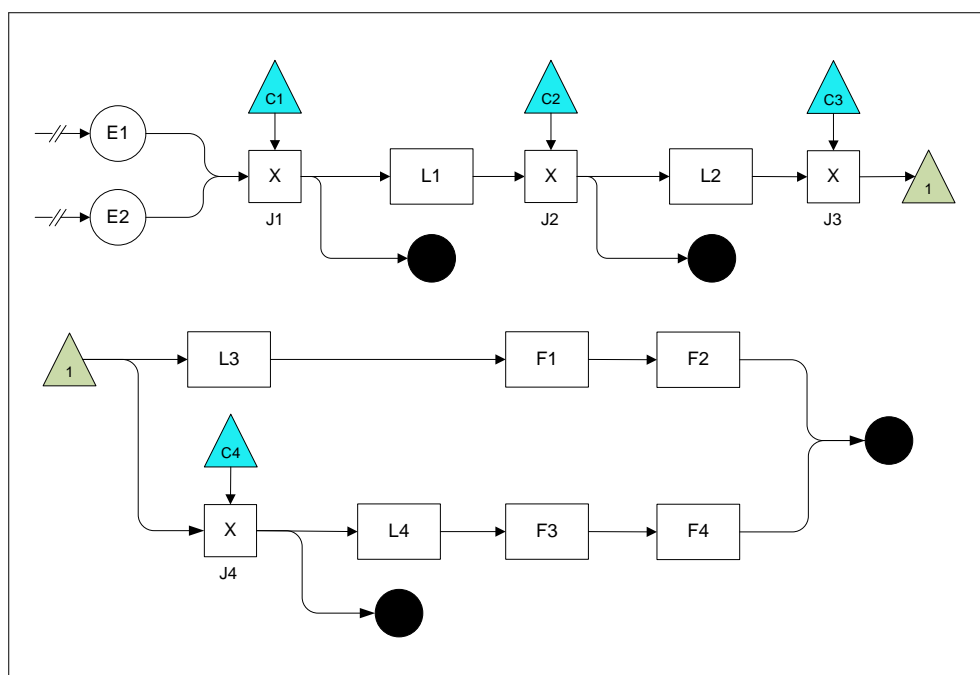


Figura 3 - Modelo Conceitual

Quadro 2: Descrição dos elementos do Modelo Conceitual.

Elementos	Descrição	Parâmetros
E1	Peça grande	Expressão: Normal (5,1) minutos; capacidade: infinita
E2	Peça pequena	Expressão: Normal (5,1) minutos; capacidade: infinita
C1	Liga Sistema	Botão_Liga == 1
C2	Detecta saída do tapete alimentador	sensor0 == 1
C3	Detecta altura superior	sensor1 == 1 && sensor 2 == 1
C4	Detecta altura inferior	sensor1 == 1 && sensor 2 == 0
L1	Cais de entrada	Local; capacidade: infinita
L2	Mesas transportadoras	Local; capacidade: infinita
L3	Cais de saída de peças grandes	Local; capacidade: infinita
L4	Cais de saída de peças pequenas	Local; capacidade: infinita
F1	Atribui 1 ao detector de saída da mesa transportadora E	Variável: Saída 3,1
F2	Atribui 0 ao detector de saída da mesa transportadora E	Variável: Saída 3,0
F3	Atribui 1 ao detector de saída da mesa transportadora G	Variável: Saída 4,1
F4	Atribui 0 ao detector de saída da mesa transportadora G	Variável: Saída 4,0

De acordo com os elementos descritos na Figura 3 e Quadro 2, pode-se identificar que o elemento E1 representa a chegada das peças grandes e o elemento E2, a chegada das peças pequenas no cais de entrada, ou seja, descreve a entrada no fluxo de peças do sistema. A Junção do tipo X (J1) exprime a lógica decisória, indicando que

a peça só entrará pelo cais de entrada se o botão de liga, expresso através do controle (C1), for acionado.

A função (L1) reproduz o cais de entrada e antecede uma junção do tipo X (J2), a qual através do controle (C2), que expressa a função do sensor 0, aciona as mesas transportadoras (L2). No final das mesas transportadoras (L2), existem 2 sensores que detectam se a peça é grande (E1) ou pequena (E2).

O controle (C3) na junção tipo X (J3) verifica, através dos sensores 1 e 2, se a peça é grande. Caso a peça seja grande, a mesma é direcionada ao cais de saída de peças grandes, que é reproduzido pela função (L3). As funções (F1) e (F2) são utilizadas para atribuir 1 e 0, respectivamente, ao detector de saída, informando que a peça já saiu do sistema.

O controle (C4) na junção tipo X (J4) representa o sensor 1, que é utilizado para detectar peças pequenas. Quando identificado que a peça é pequena, a mesma segue pelo cais de saída de peças pequenas, expresso pela função (L4). As funções (F3) e (F4) são utilizadas para atribuir 1 e 0, respectivamente, ao detector de saída, informando que a peça já saiu do sistema.

5. Mapeamento do Sistema de Controle com o Modelo de Simulação

Após a construção do modelo de simulação e da lógica de controle no CLP, é necessário criar uma conexão que permita acessar os dados registrados no servidor OPC. A Figura 4 apresenta os elementos do ambiente Arena[®]12, necessários à construção da respectiva conexão.

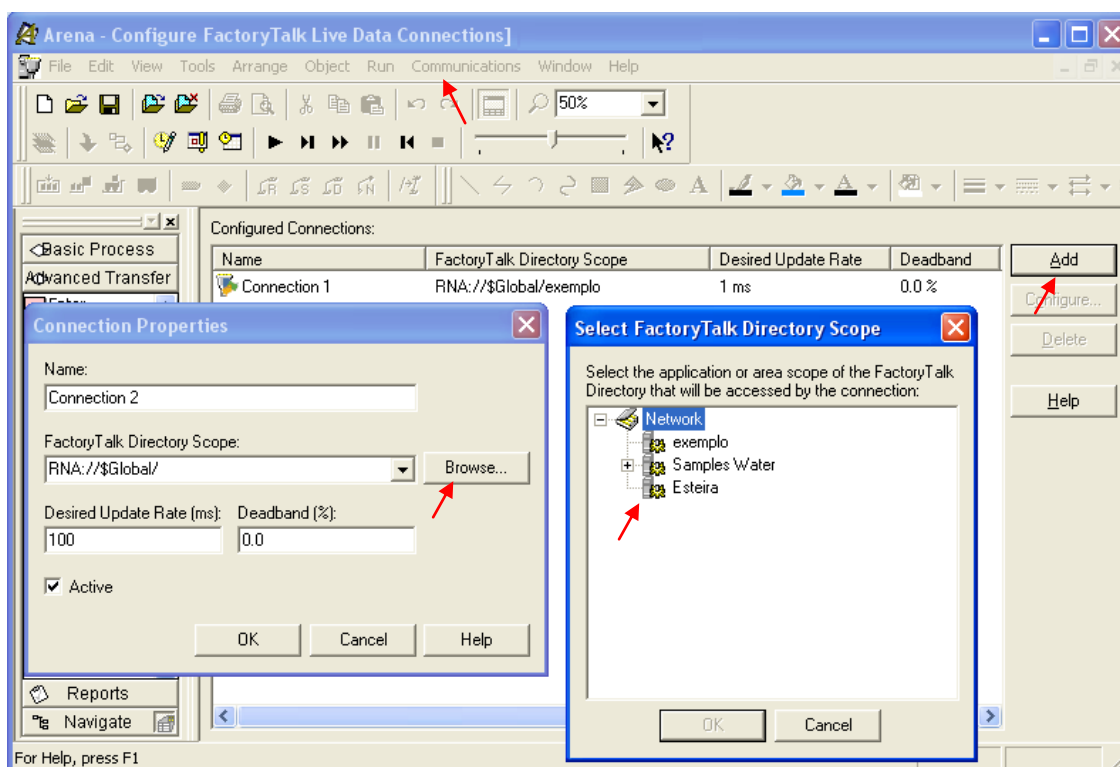


Figura 4 – Conexão para acesso aos dados do servidor OPC

Através da conexão criada entre o ambiente de simulação e o servidor de dados OPC, é possível conectar as variáveis do modelo de simulação com os *tags* da lógica de controle. Os *tags* definidos no software de programação do CLP fazem referência aos I/O, local na memória no controlador.

Na Figura 5, pode-se verificar que cada variável do modelo de simulação é integrada a um *tag* da programação do sistema de controle, o que faz com que as informações sejam trocadas por ambos os softwares e o CLP possa controlar o modelo de simulação.

Pode ser verificado ainda na Figura 5, o exemplo da integração de uma variável do Arena®12 com um canal de I/O do CLP. A variável do Arena Sensor 4, por exemplo, é conectada através da conexão específica *connection 1*, a um endereço de memória do CLP, que representa a entrada do sensor 4 no sistema real.

Em Bastos et. al. (2010) pode ser encontrada a seqüência completa dos passos para integração de um modelo de simulação com um sistema de controle.

O ambiente de treinamento do Sistema de Transporte com Esteira, semelhante ao ITS PLC, é alcançado após a construção do modelo de simulação em Arena, da lógica de controle e do mapeamento integrando o modelo de simulação e o CLP.

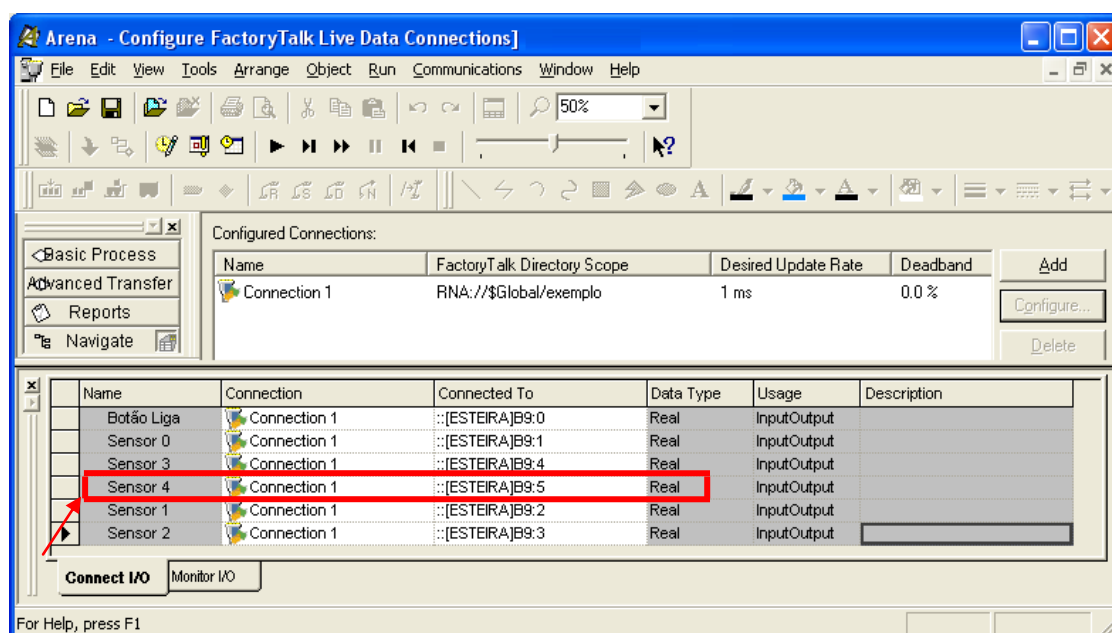


Figura 5 – Conexão das variáveis do Arena com os *tags* da programação do sistema de controle.

6. Teste do Ambiente Simulado em Arena®12

A Figura 6 apresenta o ambiente de treinamento composto de um módulo didático com CLP Allen Bradley e modelo de simulação em Arena®12. Tanto o CLP como o Arena®12 são produtos da Rockwell Automation.

Na realização do teste do ambiente simulado em Arena®12, o sistema foi composto, além dos sensores descritos na tabela da Figura 2, por três botões que são representados como entradas no CLP:

- Botão Liga, mostrado na Figura 6 como BL;

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

- Botão Desliga, mostrado na Figura 6 como BD;
- Botão de Emergência, mostrado na Figura 6 como EM.

O botão Liga é utilizado para acionar o cais de entrada, dando início à movimentação das peças no processo. O botão Desliga, ao ser acionado, cessa a alimentação do sistema. Após a última peça, que já se encontra no mesmo, deve descer pelo elevador automático, ou seja, para de entrar peças pelo cais de entrada e após a saída da última peça do sistema, o mesmo é desligado. Existe ainda um botão de Emergência que ao ser acionado para o sistema em qualquer momento do processo e, ao ser desligado, o processo retorna do ponto onde parou.

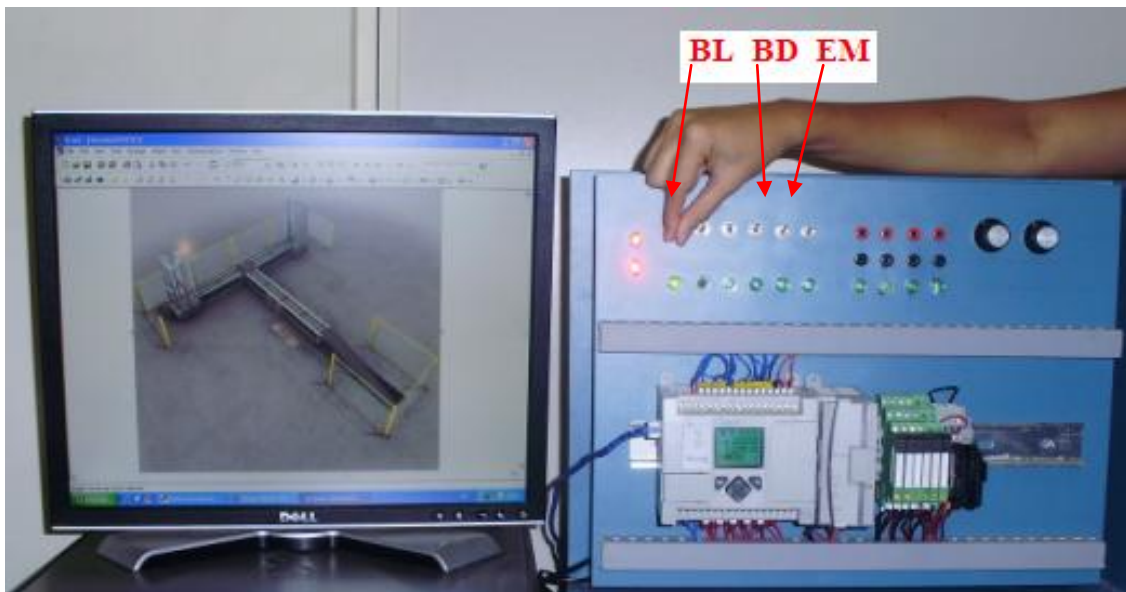


Figura 6 – Conjunto módulo didático, computador e usuário.

Para validação e comparação dos ambientes simulados do Sistema de Transporte com Esteiras, foram feitos diversos testes, verificando todas as possíveis condições do processo. O módulo didático integrado com o Arena[®] foi testado e utilizado pelo usuário, onde o mesmo atuou nas respectivas chaves de entrada e observou as saídas correspondentes em consonância com o modelo do ambiente Arena[®]. As Figuras 7(a), 7(b), 7(c) e 7(d) mostram alguns momentos dos testes feitos para validar o ambiente de simulação proposto.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

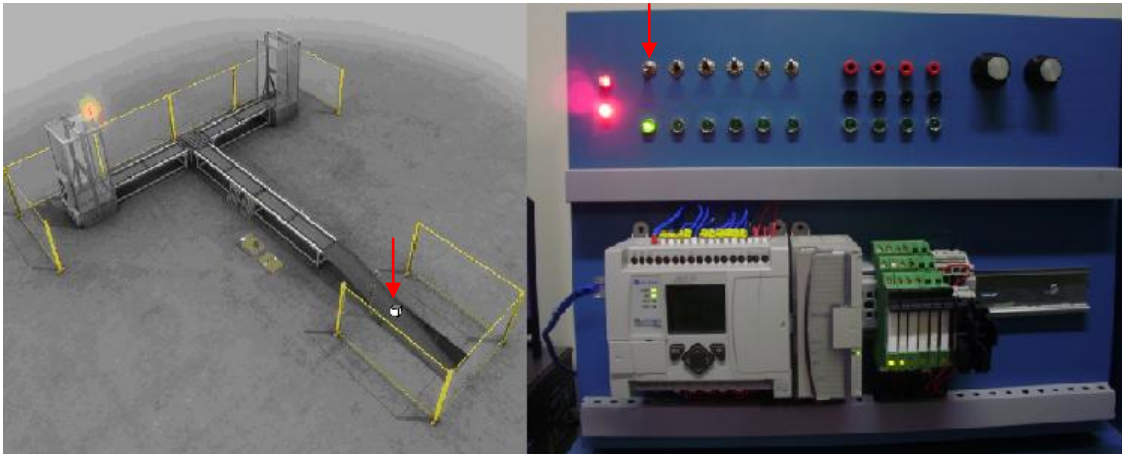


Figura 7(a) – Modelo de Simulação e Módulo Didático (Botão Liga Acionado)

Como já citado, o botão Liga é utilizado para acionar o cais de entrada, dando início à movimentação das peças no processo. No módulo didático, o mesmo é representado pela primeira chave da esquerda para direita.

A Figura 7(a) evidencia o momento em que o botão Liga é acionado e a esteira alimentadora começa a executar o transporte das peças. A partir da Figura 7(b), pode-se observar que o acionamento do sensor 0, posicionado ao final do tapete alimentador, resulta no acionamento da mesa transportadora, dando continuidade ao transporte da peça. É importante observar que o sensor 0 está representado no CLP pela segunda chave da esquerda para direita, que está com o LED (diodo emissor de luz) verde aceso, indicando seu acionamento.

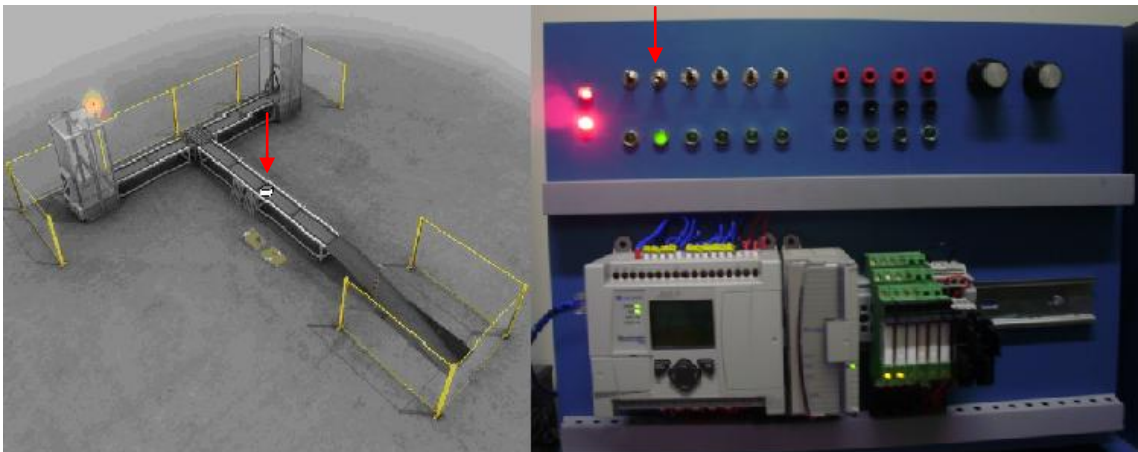


Figura 7(b) – Modelo de Simulação e Módulo Didático (Sensor 0 Acionado)

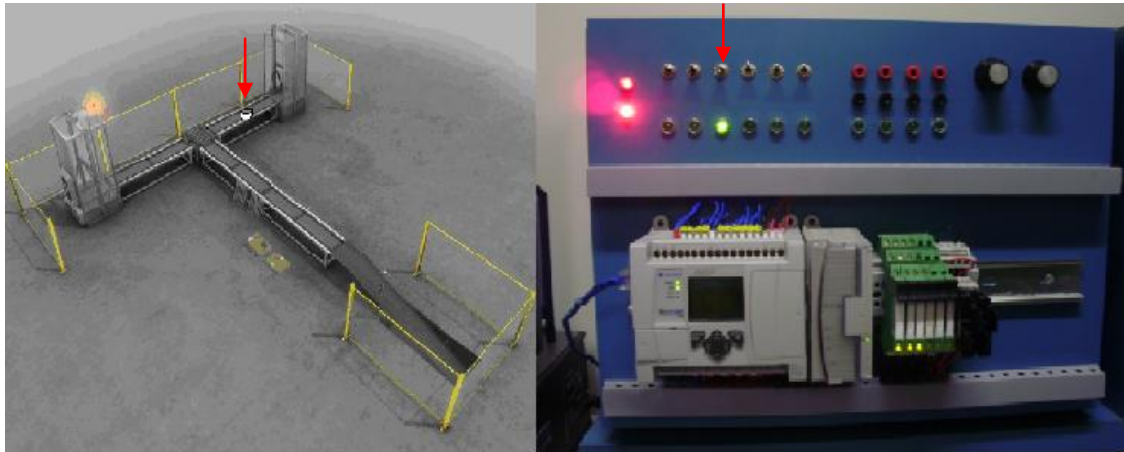


Figura 7(c) – Modelo de Simulação e Módulo Didático (Sensor 1 Acionado)

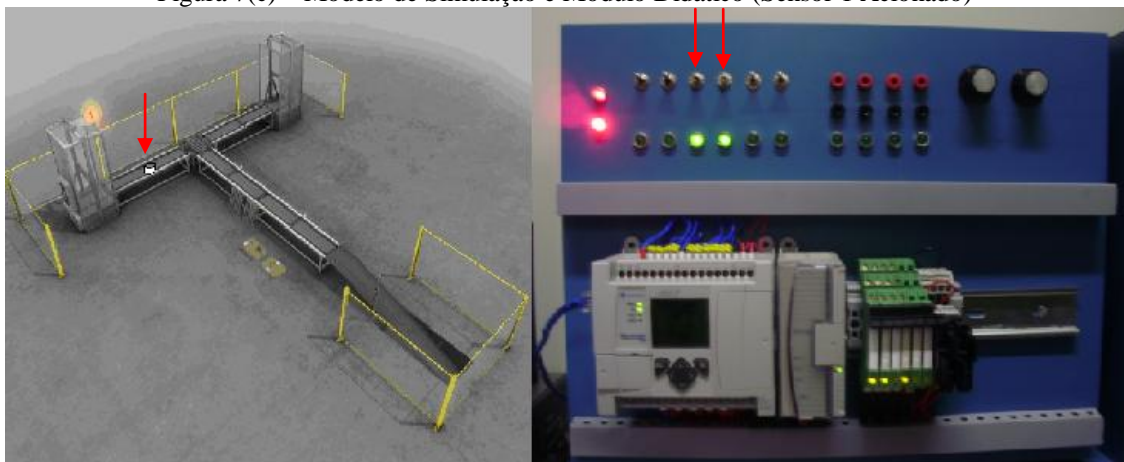


Figura 7(d) – Modelo de Simulação e Módulo Didático (Sensores 1 e 2 Acionados)

As Figuras 7(c) e 7(d) demonstram a separação das peças pelo tamanho, de acordo com a ação dos sensores 1 e 2. Esses sensores estão posicionados no sistema um sobre o outro ao final das mesas transportadoras, sendo o sensor 2 posicionado acima do sensor 1. Quando a peça é pequena, ocorre a comutação apenas do sensor 1, que permitirá a passagem da mesma para esteira da direita, em direção ao elevador automático do lado direito. Entretanto, quando a peça é grande, os sensores 1 e 2 irão comutar simultaneamente, acionando a esteira da esquerda, que levará a caixa até o elevador automático do lado esquerdo.

7. Conclusões

Após os testes realizados com o modelo de simulação discreta do Sistema de Transporte e Seleção com Esteiras desenvolvido no ambiente Arena, pôde-se constatar que o mesmo funcionou de forma semelhante ao sistema original do ambiente de treinamento ITS PLC. Por outro lado, com a utilização do modelo desenvolvido no Arena, o operador (ou estudante) tem a possibilidade de realizar outros testes, onde se pode alterar a configuração do sistema, ao contrário do ambiente original ITS PLC. Desta forma, podem-se criar no modelo de simulação, desenvolvido em Arena, mais alternativas para controle do sistema e ampliar a interatividade. Ou seja, podem-se acrescentar ao modelo, por exemplo, ajuste de velocidade,

adição de outros tipos de peças ou equipamentos, inclusão de um evento estocástico proveniente da ação de um operador do processo, dentre outros.

Este trabalho procurou contribuir para estimular a utilização dos ambientes de desenvolvimento de modelos de simulação a eventos discretos como ambiente de desenvolvimento de modelos para aplicação como kits didáticos. Buscou também levantar a possibilidade de aplicação de tais ambientes de simulação de forma integrada a sistemas de controle automático de uso industrial.

Embora este trabalho tenha se concentrado no uso do software Arena e em sistemas de controle, ambos da Rockwell, a metodologia pode ser facilmente aplicada utilizando simulação e outras ferramentas de controle e softwares de simulação compatíveis.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pelo suporte financeiro para esta pesquisa. Gostaria de agradecer ainda à T&T Automação e Sistemas Industriais Ltda. pelo fornecimento dos recursos necessários para a construção do módulo didático.

Referências

AUINGER, F.; VORDEWINKLER, M. & BUCHTELA, G. (1999), *Interface drive domain-independent modeling architecture for “soft-comissioning” and “reality in the loop”*. In: Winter Simulation Conference, Phoenix, Arizona, USA, 798-805.

BANKS, J. (2000), *Simulation in the Future*. In: Winter Simulation Conference, Orlando, FL, USA, 1568-1576.

BASTOS, P.J.T.; JÚNIOR, É.C.; CARDOSO, L.D.; RANGEL, J.J.A. & T., L.O. (2010), *Simulação a eventos discretos para comissionamento de sistemas de controle*. Anais do XVII Simpósio de Engenharia de Produção, SIMPEP, Bauru/SP, 16p.

BULLOCK, D.; JOHNSON, B.; WELLS, R.B.; KYTE, M. & LI, Z. (2004), *Hardware-in-the-loop simulation*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol.12, Nº. 1, 73-89.

CHWIF, L. (2002), *Utilizando a Simulação de Eventos Discretos em Projetos de Sistemas Automatizados de Manufatura*. Anais do 10º Congresso e Exposição Internacioal de Automação (CONAI), São Paulo/SP, 7p.

DAVIS, W, J.; MACRO, J.G.; BROOK, A.L.; LEE, M.S.; ZHOU, G.S. (1996), *Developing a Real-Time Emulation/Simulation Capability for the Control Architecture to the Ramp FMS*. In: Winter Simulation Conference, Coronado, CA, USA, 171-178.

DOUGALL, D. J. (1998), *Applications and benefits of real-time I/O simulation for PLC and PC control systems*. ISA Transactions. Vol. 36, Nº 4, 305-311.

GARG, R.K. & SINGH, V. (2010), *Design Plan of Modular Controller Discharge System using Simulation*. International Journal of Computer Applications. Vol.9, Nº.1, 48-52.

GONZALES, F.G. & DAVIS, W.J. (1997), *A Simulate Based Controller*. In: Winter Simulation Conference, Atlanta, GA, USA, 845-853.

INUKAY, T.; HIBINO, H. & FUKUDA, Y. (2007), *Simulation Environment Synchronizing Real Equipment for Manufacturing Cell*. Journal of Advanced Mechanical Design, Systems and Manufacturing. Vol.1, Nº 2, 238-249.

JOHNSTONE, M.; CREIGHTON, D. & NAHAVANDI, S. (2007), *Enabling Industrial Scale Simulation / Emulation Models*. In: Winter Simulation Conference, Washington, DC, USA, 1028-1034.

KELTON, W.D.; SADOWSKI, R.P. & STURROCK, D.T. (2007), *Simulation With Arena*. Forth Edition. New York: McGraw- Hill.

KO, M.S.; PARK, S.C. & WANG, G.N. (2008), *Visual Validation Of PLC Programs*. In: Proceedings 22nd European Conference on Modelling and Simulation (ECMS), Nicosia, Cyprus. 6p.

KOFLANOVICH, N. & HARTMAN, P. (2010), *Live modernizations of automated material handling systems: bridging the gap between design and startup using emulation*. In: Winter Simulation Conference, Baltimore, Maryland, USA, 1716-1726.

LEBARON, T. & THOMPSON, K. (1998), *Emulation of a Material Delivery System*. In: Winter Simulation Conference, Washington, DC, USA, 1055-1060.

MIRDAMADI, S.; FONTANILI, F. & DUPONT, L. (2007), *Discrete event simulation-based real-time shop floor control*. In: Proceedings 21st European Conference on Modelling and Simulation (ECMS), Prague, Czech Republic. 6p.

MONTEVECHI, J.A.B; LEAL, F.; PINHO, A.F.D.; COSTA, R.F.D.S. & OLIVEIRA, M.L.M.D. (2010), *Conceptual Modeling in Simulation Projects by mean adapted IDEF: an application in brasilian tech company*. In: Winter Simulation Conference, Arizona, USA, 1624-1635.

PARK, S.C.; PARK, C.M. & WANG, G.N. (2008), *A PLC programming environment based on a virtual plant*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Vol.39, Nº 11-12, 1262–1270.

RAJA, P.; HERNANDEZ, J.; RUIZ, L. & DECOTIGNIE, J.D. (1995), *Simulating fieldbus applications with DRUGH simulator*, Computers in Industry. Vol.27, Nº. 1, 43-51.

RANGEL, J.J.A. ; TEIXEIRA, A.C.T. ; SHIMODA, E. & LISBOA, R.T. (2011), *Modelo de Simulação a Eventos Discretos como Recurso Didático em Disciplina de Física no Ensino Médio*. S & G. Sistemas & Gestão, v.6, 56-71.

RANGEL, J.J.A. & CARVALHO JUNIOR, E. (2011), *Avaliação de um Mecanismo de Teste de um Sistema de Controle com um Modelo de Simulação*. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2011, Ubatuba - SP. XLIII SBPO, 1-12.

ROCK, S. (2011), *Hardware in the loop simulation of production systems dynamics*. Production Engineering - Research and Development, Vol. 5, Nº. 3, 329-337.

SARGENT, R.G. (2007), *Verifications and validation of simulations models*. In: Winter simulation conference, Miami, USA, 124-137.

SCHLUDERMANN, H.; KIRCHMAIR, T. & VORDERWINKLER, M. (2000), *Soft-commissioning: hardware-in-the-loop-based verification of controller software*. In: Winter Simulation Conference, Orlando, FL, USA. p. 893-899.

SILVA, T.M.P. & RANGEL, J.J.A. (2011), *Discrete Event Simulation as Didactic Support to the Teaching of Telecommunications Systems: Applications in Digital Telephony*. In: Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference S. Jain, R.R. Creasey, J. Himmelspach, K.P. White, and M. Fu, eds, 2011, Phoenix, Arizona, EUA. New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (WSC - IEEE), 2011. p. 3893-3903.

SKOOGH, A. & MICHALOSKI, J. (2010), *Towards continuously updated simulation models: combining automated raw data collection and automated data processing*. In: Winter Simulation Conference, Baltimore, Maryland, USA, 1678-1689.

SMITH, J.S. & JOSHI, S.B. (1995), *A Shop Floor Controller Class for Computer Integrated Manufacturing*, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 8, Nº. 5.

SMITH, J.S. & CHO, Y. (2008), *Offline commissioning of a PLC-based control system using Arena*. In: Winter Simulation Conference, Miami, FL, USA. 1802-1810.

SMITH, J.S.; WYSK, R.A.; STURROCK, D.T.; RAMASWAMY, S.E.; SMITH, G.D. & JOSHI, S.B. (1994), *Discrete Event Simulation for Shop Floor Control*. In: Winter Simulation Conference, Lake Buena Vista, FL, USA. 962-969.

SON, Y.J. & WYSK, R.A. (2001), *Automatic simulation model generation for simulation-based, real-time shop floor control*. Computers in Industry, Vol.45, Nº.3, 291-308.

THAPA, D.; PARK, C.M; HAN, K.H.; PARK, S.C. & WANG, G.N. (2008), *Architecture for modeling, simulation, and execution of PLC based manufacturing system*. In: Winter Simulation Conference, Miami, FL, USA. 1794-1801.

VERSTEEGT, C. & VERBRAECK, A. (2002), *The extended use of simulation in evaluating real-time control systems of AGVS and automated material handling systems*. In: Winter Simulation Conference, San Diego, California, USA. 1659-1666.

WYSK, R.A.; PETERS, B.A. & SMITH, J.S. (1995), *A Formal Process Planning Schema for Shop Floor Control*. Engineering Design and Automation Journal, Vol. 1. Nº. 1, 3-19.

ZHANG, D.Z. & ANOSIKE, A.I. (2010), *Modelling and simulation of dynamically integrated manufacturing systems*. Journal of Intelligent Manufacturing, Online First™, 23 December 2010, 16p. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10845-010-0494-0>.

Apêndice I

Quadro 1: Publicações sobre integração de simulação e sistema de controle .

ANO	TÍTULO	PRIMEIRO AUTOR
1994	<i>Discrete Event Simulation for Shop Floor Control</i>	J. S. Smith.
1995	<i>Simulating fieldbus applications with drugh simulator.</i>	P. Raja
	<i>A Formal Process Planning Schema for Shop Floor Control</i>	Richard A. Wysk
	<i>A Shop Floor Controller Class for Computer Integrated Manufacturing.</i>	Jeffrey S. Smith
1996	<i>Developing a Real-Time Emulation/Simulation Capability for the Control Architecture to the Ramp FMS.</i>	Wayne J. Davis
1997	<i>A Simulate Based Controller.</i>	Fernando G. Gonzalez
1998	<i>Applications and benefits of real-time I/O simulation for PLC and PC control systems.</i>	David J. Dougall.
	<i>Emulation of a Material Delivery System.</i>	Todd LeBaron
1999	<i>Interface driven domain-independent modeling architecture for “Soft-commissioning” and “Reality in the loop”.</i>	Franz Auinger
2000	<i>Simulation in the future.</i>	Jerry Banks
	<i>Soft-commissioning: hardware-in-the-loop-based verification of controller software.</i>	Harald Schludermann
2001	<i>Automatic simulation model generation for simulation-based, real-time shop floor control.</i>	Young Jun Son
2002	<i>The extended use of simulation in evaluating real-time control systems of AGVS and automated material handling systems.</i>	Corné Versteegt
	<i>Utilizando a Simulação de Eventos Discretos em Projetos de Sistemas Automatizados de Manufatura.</i>	Leonardo Chwif
2004	<i>Hardware-in-the-loop simulation.</i>	Darcy Bullock
2007	<i>Discrete event simulation-based real-time shop floor control.</i>	Samieh Mirdamadi
	<i>Enabling Industrial Scale Simulation / Emulation Models.</i>	Michael Johnstone
	<i>Simulation Environment Synchronizing Real Equipment for Manufacturing Cell.</i>	Toshihiro Inukay
2008	<i>A PLC programming environment based on a virtual plant.</i>	Sang C. Park
	<i>Architecture for modeling, simulation, and execution of PLC based manufacturing system.</i>	Devinder Thapa
	<i>Offline commissioning of a PLC-based control system using Arena.</i>	Jeffery S. Smith
	<i>Visual Validation Of PLC Programs.</i>	Min. S. Ko
2010	<i>Design Plan of Modular Controller Discharge System using Simulation.</i>	Rajesh Kumar Garg
	<i>Live modernizations of automated material handling systems: bridging the gap between design and startup using emulation.</i>	Nathan Koflanovich
	<i>Modelling and simulation of dynamically integrated manufacturing systems.</i>	D. Z. Zhang
	<i>Towards continuously updated simulation models: combining automated raw data collection and automated data processing.</i>	Anders Skoogh
	<i>Simulação a Eventos Discretos para Comissionamento de Sistemas de Controle.</i>	Patrick J. T. Bastos
2011	<i>Hardware in the loop simulation of production systems dynamics.</i>	Sascha Röck.
	<i>Avaliação de um Mecanismo de Teste de um Sistema de Controle com um Modelo de Simulação</i>	Rangel, J.J.A.

* Publicações nacionais em destaque.