

Modelagem Unificada de Sistemas a Eventos Discretos e de Controle Aplicados em Manufatura

Unified Modeling of Discrete Event and Control Systems Applied in Manufacturing

Amanda Arêas de Souza^{*}
João José de Assis Rangel^{**}

Para a elaboração tanto de um modelo de simulação como de um sistema de controle é necessário construir, previamente, um modelo conceitual. Isto é o que, normalmente, é sugerido pelas metodologias aplicadas em projetos dessa natureza. Algumas técnicas de modelagem conceitual permitem uma melhor compreensão do modelo de simulação, assim como descrevem claramente a lógica dos sistemas de controle. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo apresentar e avaliar linguagens conceituais para modelagem unificada de modelos de simulação a eventos discretos e sistemas de controle aplicados em manufatura. Os resultados mostraram que a Linguagem IDEF-SIM pode ser aplicada tanto em simulação de sistemas como em controle de processos.

For the development of both a simulation model and a control system, it is necessary to build, in advance, a conceptual model. This is what is usually suggested by the methodologies applied in projects of this nature. Some conceptual modeling techniques allow for a better understanding of the simulation model, and a clear description of the logic of control systems. Therefore, this paper aims to present and evaluate conceptual languages for unified modeling of models of discrete event simulation and control systems applied in manufacturing. The results show that the IDEF-SIM language can be applied both in simulation systems and in process control.

Palavras-chave: Simulação a Eventos Discretos. Modelo Conceitual. Sistema de Controle. IDEF-SIM. Fluxograma.

Keywords: Discrete Event Simulation. Conceptual Model. Control System. IDEF-SIM. Flowchart.

Introdução

Integração e comunicação entre Simulação a Eventos Discretos (SED) e Sistema de Controle (SC) automático de processos têm sido estudados desde o início da década de 90, como os trabalhos de Wysk et al. (1995) e Dougall (1998). Mais recentes, trabalhos como os de Smith e Cho (2008), Rangel et al. (2012), Souza, Rangel e Soares (2012) e Baptista e Rangel (2013) continuam investigando tal aplicação, e buscando compreender melhor os aspectos construtivos e operacionais.

^{*} Bacharel em Engenharia de Controle e Automação pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. Engenheira de Software da Kongsberg Maritime do Brasil. E-mail: areasamanda@gmail.com.

^{**} Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF (1998). Professor Titular do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. E-mail: joao@ucam-campos.br.

Nesta mesma direção, outros trabalhos abordaram a descrição conceitual de modelos de SED integrados a SC. Van der Vorst e Van der Zee (2007) utilizaram três técnicas diferentes para avaliar a descrição de um mesmo sistema sob análise. Os autores apresentaram uma comparação baseada em princípios de decomposição das respectivas técnicas: Redes de Petri, *Activity Cycle Diagram* (ACD) e Fluxograma.

Destacando a importância do modelo conceitual em projetos de simulação, Leal (2008) propôs uma técnica de modelagem conceitual específica para ambiente de simulação, denominada de IDEF-SIM. Os elementos utilizados para compor essa linguagem foram selecionados a partir de técnicas de modelagem amplamente utilizadas, como a família IDEF (*Integration Definition Language*). Daí a escolha do nome. A técnica IDEF-SIM utiliza e adapta então os elementos lógicos das técnicas de modelagem IDEF0, IDEF3 e fluxograma, permitindo a elaboração de modelos conceituais com informações úteis para a construção de um modelo de simulação.

Diante disso, este trabalho buscou compreender a adequação para descrever conceitualmente modelos de SED integrados a SC através de IDEF-SIM. Ou seja, procurou avaliar se é possível representá-los de forma unificada em um mesmo modelo conceitual.

Modelagem Conceitual

Para a elaboração tanto de um modelo de simulação como de um sistema de controle é necessário, normalmente, construir previamente o modelo conceitual (OGATA, 2003). Isto é o que se faz em um projeto, já que a maioria das metodologias empregadas comumente cita que dessa forma pode-se entender e identificar o que está sendo proposto. Na realidade, o modelo conceitual é uma descrição do sistema que se deseja construir, independente da metodologia ou *software* que se utilizará. Na Figura 1, é possível observar como a criação de um modelo conceitual pode ser subdividida.

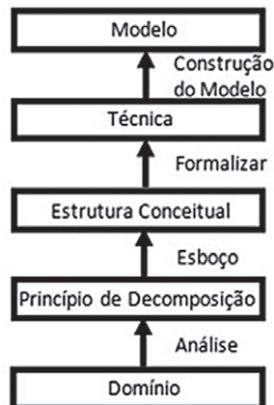


Figura 1: Subdivisão de um Modelo Conceitual

Fonte: Adaptado de Van der Zee and Van der Vorst, 2007

A Figura 1 reproduz como é feita a subdivisão de um modelo conceitual. Este começa com a descrição do problema a partir do domínio que se tem sobre ele. Com essa análise, inicia-se o princípio de decomposição do modelo conceitual, que acontece inicialmente de forma simples e a complexidade ocorre de maneira evolutiva. A partir do esboço a estrutura conceitual é obtida e formalizada com a utilização de técnicas. Por fim, a construção do modelo é desenvolvida e o modelo conceitual é alcançado.

Com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação, os modelos conceituais foram desenvolvidos e se tornaram fundamentais na elaboração de qualquer projeto. Dessa forma, visando à melhor compreensão, Robinson (2007) cita que o modelo conceitual é certamente o aspecto mais importante de um projeto de simulação.

Algumas técnicas de representação para a elaboração do modelo conceitual são reconhecidas pelo seu bom desempenho, podem ser destacados: *Activity Cycle Diagram* (ACD), Máquina de Estados Finitos, Fluxograma, IDEF-SIM, Redes de Petri, entre outros. Entretanto, poucas técnicas permitem uma melhor caracterização de testes realizados a partir da integração de sistemas de manufatura, modelos de simulação e controle discreto, conforme é ilustrado na Figura 2. Esses testes têm como objetivo analisar o desempenho do sistema, avaliar o comportamento dinâmico e estocástico do mesmo, com as respectivas regras operacionais de forma visual e descritiva.

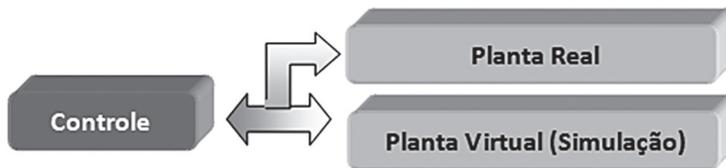


Figura 2: Construção de um Ambiente para Testes

A Figura 2 apresenta como é formulada a construção de um ambiente para testes, envolvendo um sistema industrial de uma planta real de processo, um controle discreto (ou lógico) e um modelo de simulação da referida planta (planta virtual). Um teste para a obtenção de um modelo conceitual pode ser estabelecido pela unificação desses três elementos. Um ambiente formado para a obtenção de testes pode oferecer um sistema de manufatura integrado com um controle discreto, o que possibilita a obtenção de testes para avaliação de um sistema real.

Algumas técnicas de modelo conceitual permitem, então, uma melhor compreensão do modelo de simulação desenvolvido, assim como apresentam claramente os controles envolvidos no sistema. Dessa forma, avaliar técnicas para um modelo de simulação permite uma melhor compreensão do sistema por outras pessoas, tornando mais fácil o desenvolvimento e entendimento desse, sem a perda de informações durante o processo (ZHANG; ANOSIKE, 2010).

Fluxograma

O fluxograma é uma técnica de representação gráfica de algoritmos, que apresenta de forma descomplicada a transição de informações entre os elementos que o compõem. Possui alguns componentes básicos como os terminais, os processos e as decisões. Os fluxogramas podem ser traduzidos utilizando *softwares* como **Flowcharts of C Structures** e ainda **Rules for Structured Flowcharting**.

Um complexo processo pode ser apresentado usando apenas um único bloco. Qualquer processo pode ser substituído por uma sequência, assim como qualquer processo pode ser substituído por uma estrutura de controle. Dessa forma, através dessa representação gráfica é possível compreender de forma rápida e fácil a transição de informações ou documentos entre os elementos que participam no processo em causa.

Integrated Definition Methods - Simulation (IDEF-SIM)

A utilização do IDEF-SIM torna possível gerar um modelo conceitual com uma série de informações que irão diminuir o tempo necessário ao desenvolvimento do modelo computacional. Segundo Montevechi et al. (2010), esta técnica utiliza e adapta elementos lógicos das técnicas de modelagem IDEF0 e IDEF3, permitindo a elaboração de modelos conceituais com informações úteis ao modelo computacional.

De acordo com Aguilar-Savén (2004), a família IDEF é utilizada de acordo com diferentes aplicações. As mais importantes versões são o IDEF0, IDEF1, IDEF1X, IDEF2, IDEF3, IDEF4 e IDEF5. Porém, para a modelagem de processos de negócios, as versões mais utilizadas são o IDEF0 e o IDEF3.

Um sistema, para exemplificar a utilização dessa técnica de forma prática, é o de atendimento bancário, descrito em Leal, Almeida e Montevechi (2008). Nesse exemplo, há um cliente e três caixas disponíveis. O cliente chega ao local, é atendido por um dos três caixas e então deixa o sistema. Na Figura 3 é possível acompanhar o seu modelo conceitual em IDEF-SIM.

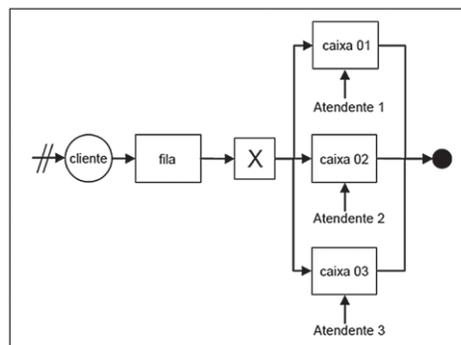


Figura 3: IDEF-SIM do sistema de atendimento bancário

Fonte: Leal, Almeida e Montevechi (2008)

A modelagem registrada através do IDEF-SIM mostra que apenas uma entidade (cliente) foi utilizada. Além disso, o sistema possui quatro funções que podem ser definidas como: fila, caixa 01, caixa 02 e caixa 03. Cada caixa possui um recurso, que são os atendentes. O sistema inicia com a chegada do cliente na fila de espera, aguardando a liberação de um dos caixas. A operação realizada nas funções do caixa só ocorre mediante a presença dos recursos. Após a realização das funções, o sistema é finalizado com a liberação do cliente.

Descrição do Sistema de Teste

O sistema simula um processo de Mistura de Tintas, que é baseado na ferramenta ITS PLC, utilizada para a educação e treino da programação de controladores lógicos programáveis (PLC). Esse conjunto de *software* e *hardware* oferece cinco sistemas virtuais, dentre os quais o sistema de mistura de tintas está incluído. O objetivo é misturar três tintas de cores primárias (vermelho, verde e azul) de forma a obter as tintas azul, amarela e branca. Este sistema é constituído por três reservatórios de tinta, três tanques de medição e um tanque de mistura, como mostra a Figura 4.

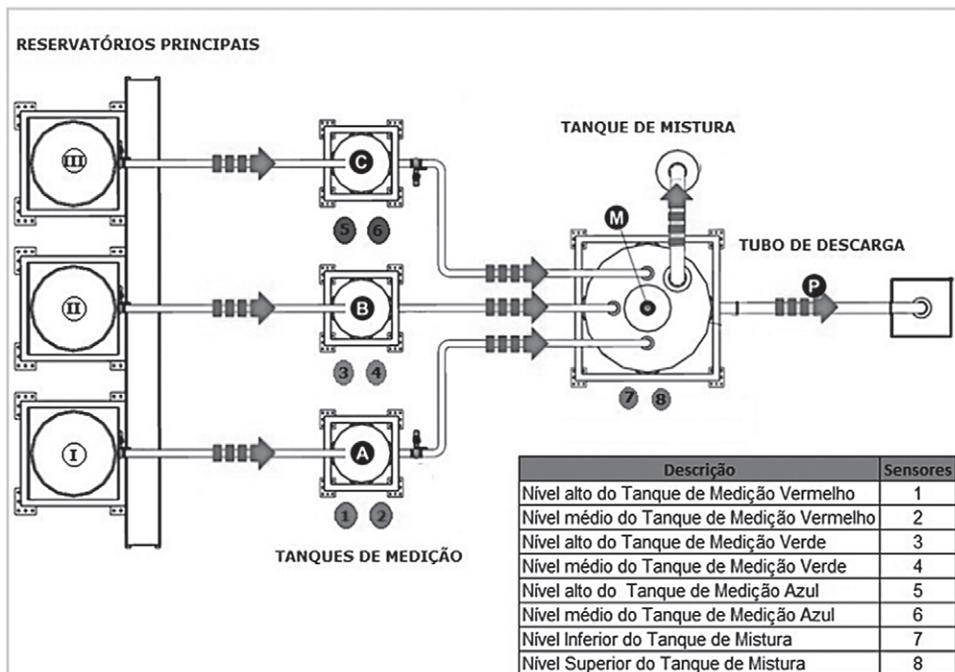


Figura 4: Sistema de Mistura de Tinta

Os reservatórios principais contêm tintas de cor vermelha, verde e azul respectivamente (I, II, III). A descarga dos reservatórios é feita através de válvulas

para os tanques de medição (A, B, C). Cada tanque possui dois pontos de medição: um sensor de nível médio e de nível alto. A tinta contida nesses tanques é descarregada através de válvulas para o tanque de mistura (M). Esse tanque M possui dois sensores: um de nível inferior e outro de nível superior. O processo de mistura tem que durar cinco segundos. A tinta produzida é descarregada através de uma válvula para o tubo de descarga (P).

No início do processo os reservatórios principais carregam totalmente os tanques de medição (até o sensor de nível alto dos três tanques comutarem). Primeiramente é obtida a tinta de cor azul. Para isso, é necessária uma medida da cor azul do tanque de medição C.

A tinta amarela precisa de uma medida da cor vermelha do tanque de medição A e da cor verde do tanque de medição B. Por fim a tinta branca é produzida com uma medida das cores vermelha, verde e azul dos seus respectivos tanques de medição. Uma medida é a quantidade exata existente entre o sensor de nível médio e alto. Depois de cinco segundos no tanque de mistura, as cores saem prontas do processo.

O processo inicia com o acionamento da chave Liga/Desliga. A partir disso, os três tanques de medição são totalmente preenchidos pelos reservatórios principais, respectivamente pelas cores vermelho, verde e azul, até os sensores de nível alto dos três tanques acionarem (sensores 1, 3, 5). Para a produção da cor azul, é necessário que uma medida do tanque de medição C (correspondente à cor azul) vá para o tanque de mistura.

Essa medida é dada pela quantidade de tinta existente entre o sensor de nível médio e o sensor de nível alto (sensores 5 e 6). Ou seja, quando a válvula de saída do tanque C abrir, o nível vai diminuir até atingir a metade do tanque, exatamente onde o sensor de nível médio irá comutar, fechando a válvula de saída. Com a tinta já no tanque de mistura, o misturador irá atuar por cinco segundos até a válvula de saída do tanque de mistura abrir. Então a tinta pronta irá para o tubo de descarga e o tanque de medição azul é preenchido novamente pelo reservatório III.

A cor amarela é produzida com uma medida da cor vermelha e uma medida da cor verde. A válvula de saída do tanque de medição A abre, o nível de tinta vermelha desce até o sensor de nível médio comutar (sensor 2), então a válvula volta a fechar. O mesmo ocorre com o tanque de medição B. Com as tintas já no tanque de mistura, o misturador é acionado por cinco segundos e a mistura é dispensada novamente pelo tubo de descarga. Os tanques de medição A e B são completados outra vez.

A cor branca é produzida com uma medida de cada uma das cores. As válvulas de saída (1, 2, 3) são abertas, sequencialmente, até o nível de cada tanque de medição (A, B, C) descer até o sensor de nível médio. A válvula retorna a fechar ao mesmo tempo em que o misturador faz o processo de mistura. Ao final, a válvula de saída do tanque de mistura abre para a saída da tinta pronta para o tubo de descarga. A válvula fecha e os tanques são preenchidos novamente.

Modelos Conceituais Unificados (SED e SC)

Este item apresenta então a modelagem conceitual do sistema de teste descrito no item anterior. O objetivo é a obtenção de um único modelo conceitual, dito unificado, para ser empregado na construção tanto do modelo de SED como no SC. Para isto, o referido modelo conceitual será elaborado em Fluxograma como em IDEF-SIM.

Fluxograma

A Figura 5 apresenta a modelagem conceitual do Sistema de Mistura de Tintas utilizando o Fluxograma. Basicamente o fluxo do sistema pode ser descrito da seguinte forma: inicia-se o processo com o botão de liga, processam-se as três cores e finaliza-se o processo.

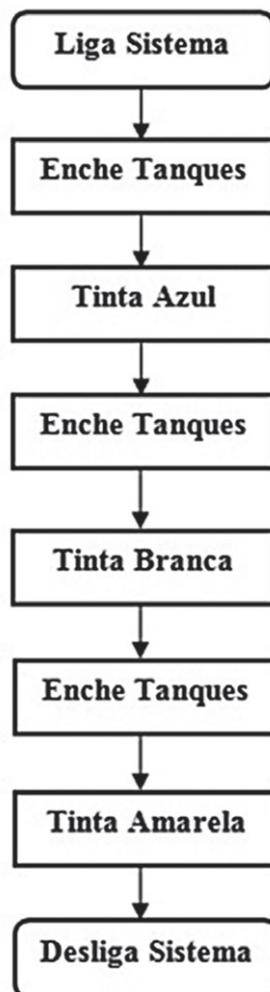


Figura 5: Fluxograma do Sistema de Mistura

Entretanto é importante ressaltar que os processos para o enchimento dos tanques e para a produção das tintas possuem diferentes fluxogramas que estão relacionados a eles. Sendo assim, o processo Enche Tanques apresenta a seguinte sequência operacional como mostra a Figura 6.

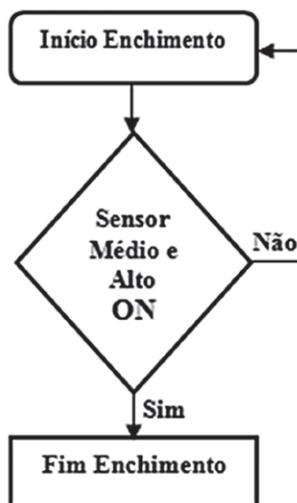


Figura 6: Fluxograma do Processo de Enchimento de Tanques

De acordo com a sequência, inicia-se o enchimento que só finalizará quando o Sensor Médio e o Sensor Alto dos tanques de tinta Azul, Verde e Vermelho estiverem ativados. Caso essa etapa não tenha sido concluída, a representação indica que retorne ao processo anterior, para dar continuidade ao enchimento até que a condição seja atendida. Da mesma forma, os processos de produção e mistura de tinta possuem seu próprio fluxograma.

O processo de mistura de Tinta Azul, por exemplo, pode ser representado de acordo com a Figura 7. É possível verificar que o processo inicia-se com a abertura da válvula do Tanque de Medição da tinta Azul para liberar o fluxo para o Tanque de Mistura até que o Sensor Médio de nível desative. O próximo processo é o fechamento da válvula do Tanque de Medição da tinta Azul para então iniciar o processo de mistura da tinta que tem duração de 5 segundos. Enquanto esse tempo não for alcançado, esse processo permanece ativo. Por fim a válvula de saída do Tanque de Mistura abre e libera a tinta finalizando essa sequência.

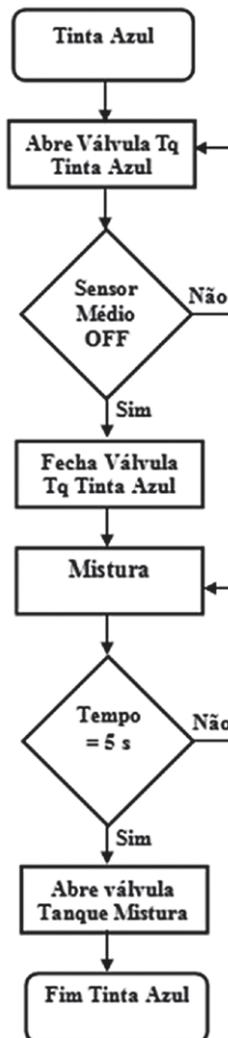


Figura 7: Fluxograma do Processo de Mistura de Tinta Azul

O processo de mistura da Tinta Amarela é representado pelo fluxograma como mostra a Figura 8. O processo ocorre da seguinte forma: inicia-se com a abertura da válvula do Tanque de Medição da tinta Verde para liberar o fluxo para o Tanque de Mistura até que o Sensor Médio de nível desative, ocorrendo então o fechamento da válvula do Tanque de Medição da tinta Verde. O mesmo ocorre com a válvula do Tanque de Medição da tinta Vermelha, que também se fechará quando o Sensor de nível Médio desativar. O próximo passo é iniciar o processo de mistura das tintas que tem duração de 5 segundos. Enquanto esse tempo não for alcançado, esse processo permanece ativo. Por fim a válvula de saída do Tanque de Mistura abre e libera a tinta finalizando essa sequência.

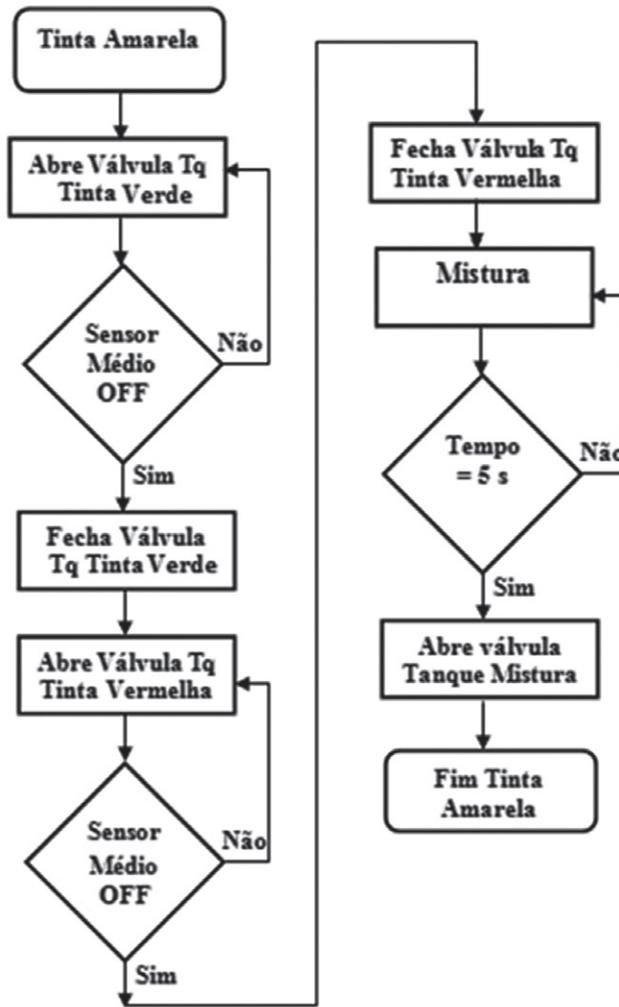


Figura 8: Fluxograma do Processo de Mistura de Tinta Amarela

Já o modelo conceitual utilizando a técnica do fluxograma para o processo de produção de Tinta Branca é apresentado pela Figura 9. Nesse processo a válvula dos Tanques de Medição das tintas Azul, Vermelha e Verde são abertos sequencialmente e permanecem nesse estado até que o Sensor de nível Médio dos respectivos tanques desative, podendo dar continuidade ao processo. Dessa forma, o próximo passo é o processo de Mistura que ocorre dentro do Tanque de Mistura para que as tintas se combinem durante 5 segundos, tempo suficiente para a obtenção da Tinta Branca. Em seguida, a válvula de saída do Tanque de Mistura é aberta para a liberação da Tinta Branca pronta.

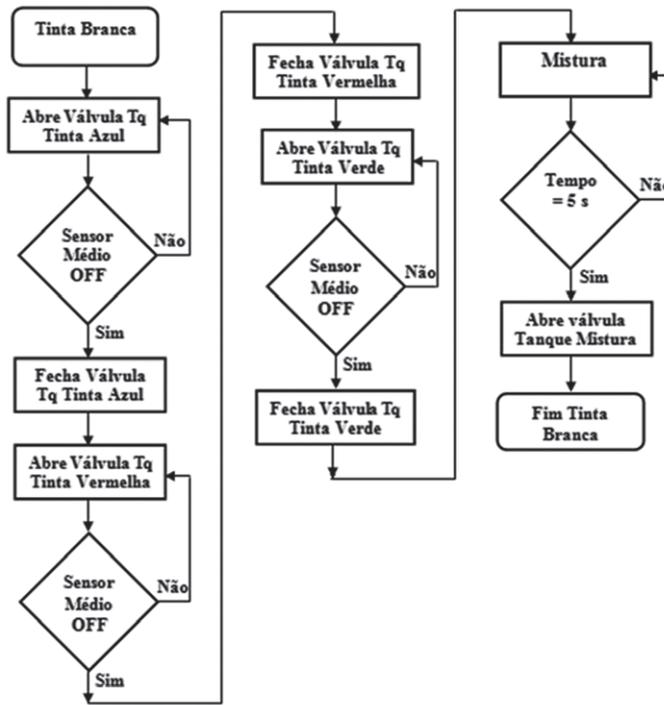


Figura 9: Fluxograma do Processo de Mistura de Tinta Branca

Integrated Definition Methods - Simulation (IDEF-SIM)

Na Figura 10 é apresentada uma parte do modelo conceitual do sistema de mistura de tintas com as informações referentes às regras operacionais e aos tempos dos processos. Utilizaram-se os elementos do IDEF-SIM propostos por Montevechi et al. (2010) para descrição do modelo conceitual.

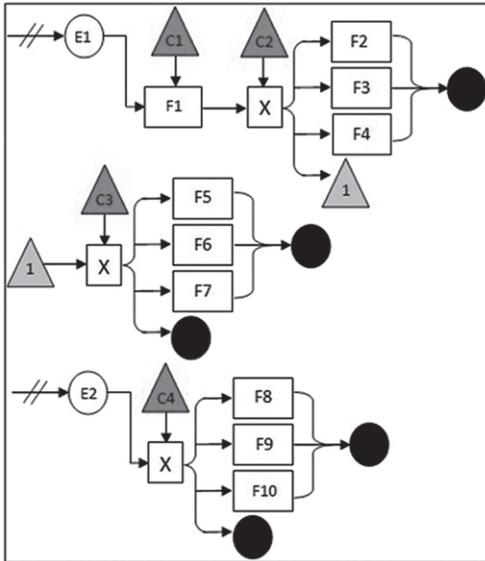
Neste modelo conceitual, as entidades E1 e E2 representam a entrada e a saída de tinta do sistema. Após o *start-up* da comunicação, a entidade E1, que indica o fluxo de tinta presente no processo, segue por F1. Esse processo depende da iniciação do sistema, que ocorre a partir da condição C1, para ligar o sistema fisicamente. Nesse caso, a variável BOTÃO_LIGA deve alcançar o nível lógico 1. Dessa forma, habilita-se o processo de enchimento dos tanques referentes às cores azul, verde e vermelha.

Consequentemente, o início da ação do enchimento dos tanques somente ocorrerá quando a condição C2 for submetida. Essa condição está relacionada à abertura das válvulas por meio do acionamento físico. Nesse caso, os níveis lógicos das variáveis VÁLVULA_TANQUE_AZUL, VÁLVULA_TANQUE_VERDE e VÁLVULA_TANQUE_VERMELHO devem ser idênticos ao do sistema real.

Sequencialmente, após os tanques estarem completos, dá-se início ao

processo de enchimento dos tanques referentes às cores azul, verde e vermelha. Esse processo depende do incremento das variáveis TQ_VERMELHO, TQ_VERDE e TQ_AZUL. Os acionamentos físicos dos sensores médios e altos dos tanques de enchimento irão finalizar esse processo, ou seja, quando os três tanques estiverem completamente cheios as funções F2, F3 e F4 já estarão completas.

A finalização desses processos ocorre com a liberação das entidades responsáveis para a saída do sistema. Entretanto, o fluxo de tinta tem continuidade a partir da execução da condição C3.



Legenda

	Descrição	Parâmetros
E1	Entrada de Tinta	Expressão: Normal (5,1) minutos; capacidade: infinita
E2	Saída de Tinta	Expressão: Normal (5,1) minutos; capacidade: infinita
C1	Liga Sistema	BOTÃO_LIGA==1
C2	Abre as válvulas dos 3 tanques principais	Variável: VÁLVULA_TANQUE_AZUL==1; Variável: VÁLVULA_TANQUE_VERDE==1; Variável: VÁLVULA_TANQUE_VERDE==1.
C3	Abre as válvulas dos 3 tanques de medição	Variável: VÁLVULA_TQ_MEDIÇÃO_AZUL==1; Variável: VÁLVULA_TQ_MEDIÇÃO_VERDE==1; Variável: VÁLVULA_TQ_MEDIÇÃO_VERMELHO==1
C4	Inicia processo do Misturador	Variável: MISTURADOR, 1
F1	Habilita o enchimento dos tanques	-
F2	Incrementa nível do tanque de tinta vermelha	Variável: TQ_VERMELHO, TQ_VERMELHO + 1
F3	Incrementa nível do tanque de tinta verde	Variável: TQ_VERDE, TQ_VERDE + 1
F4	Incrementa nível do tanque de tinta azul	Variável: TQ_AZUL, TQ_AZUL + 1
F5	Decrementa nível do tanque de tinta vermelha	Variável: TQ_VERMELHO, TQ_VERMELHO - 1
F6	Decrementa nível do tanque de tinta verde	Variável: TQ_VERDE, TQ_VERDE - 1
F7	Decrementa nível do tanque de tinta azul	Variável: TQ_AZUL, TQ_AZUL - 1
F8	Modifica saída para cor azul	Animação: Entidade, Azul
F9	Modifica saída para cor amarelo	Animação: Entidade, Amarelo
F10	Modifica saída para cor branco	Animação: Entidade, Branco

Figura 10: IDEF-SIM do Processo de Mistura de Tintas com a descrição dos elementos

Esta condição é referente à abertura física das válvulas que liberam as tintas do tanque de medição para o tanque de mistura. O nível lógico das variáveis VÁLVULA_TQ_MEDIÇÃO_AZUL, VÁLVULA_TQ_MEDIÇÃO_VERDE e VÁLVULA_TQ_MEDIÇÃO_VERMELHO devem ser idênticos ao do sistema real.

Inicia-se então o processo de produção das tintas azul, amarelo e branco. Para isso, é necessário decrementar as variáveis TQ_VERMELHO, TQ_VERDE e TQ_AZUL até o nível ideal para a produção sequencial das tintas citadas. Esse nível ideal é selecionado pelo desacionamento físico no sistema real dos sensores de nível alto e médio de cada tanque de tinta.

Após a conclusão das funções F5, F6 e F7, ocorre a liberação das entidades responsáveis para a saída do sistema. Finalizando uma parte do sistema de mistura de tintas.

A próxima etapa a ser executada é a de mistura das tintas durante 5 segundos. Essa etapa é responsável pela finalização do processo e inicia com a execução da condição C4, em que é necessário ligar o sistema fisicamente para dar continuidade ao processo. Ou seja, a variável MISTURADOR deve receber o nível lógico 1. Na seqüência, para concluir a animação do modelo de simulação, as cores azul, amarelo e branco são atribuídas às entidades, antes destas serem liberadas do sistema.

Teste e Avaliação do SC e modelo SED

Os testes foram realizados em etapas. Primeiramente, integrou-se o modelo de SED desenvolvido ao SC para realização de testes tanto do modelo quanto do sistema de controle. Após alguns ajustes na lógica de controle e no modelo de simulação para adequar o ambiente de forma verdadeira como a ideia proposta, o projeto alcançou a forma ideal para iniciar a elaboração dos modelos conceituais. As Figuras 11 e 12 apresentam respectivamente o modelo de simulação e a animação, que também foi implementada no *software* Arena[®]12.

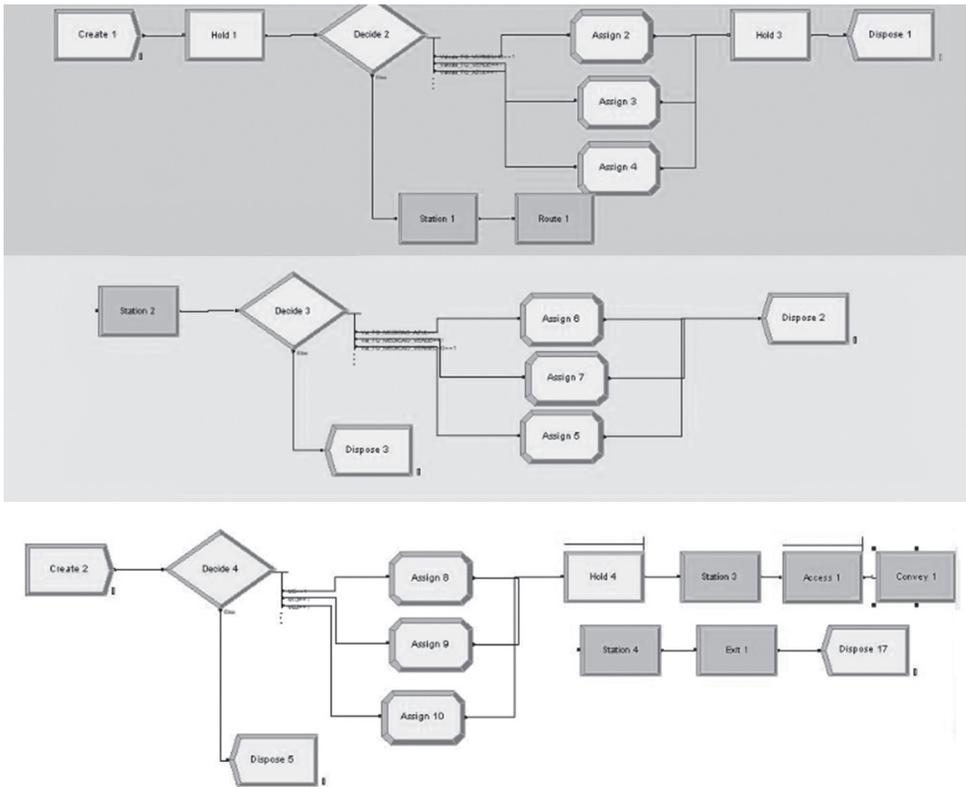


Figura 11: Modelo de simulação do sistema de teste

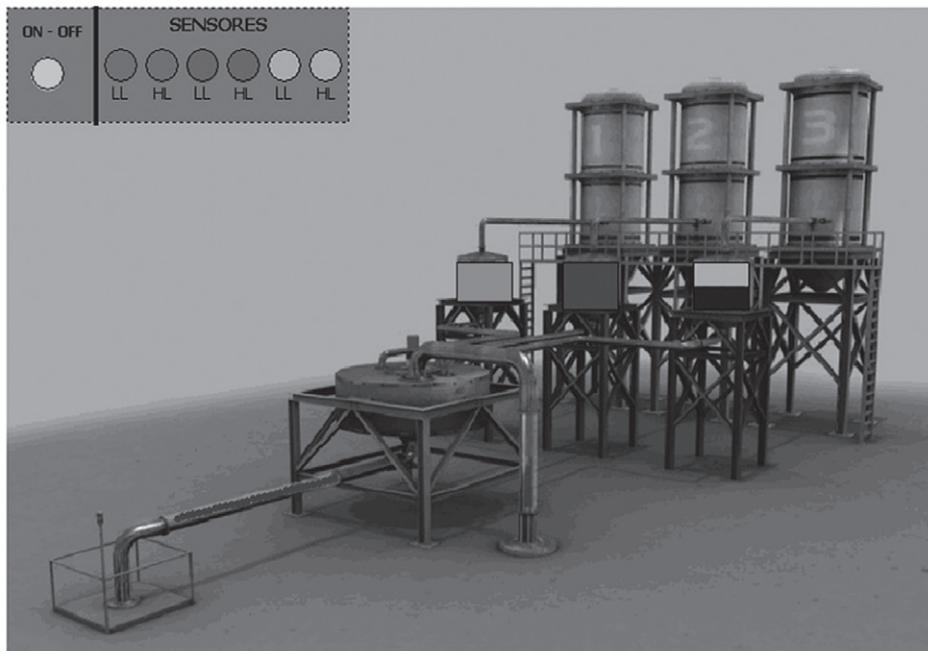


Figura 12: Animação simulada do sistema de teste

A Figura 13 apresenta o SC construído a partir também do modelo conceitual descrito na Figura 10. O SC utiliza a linguagem Ladder, que é normalmente empregada neste tipo de sistema.

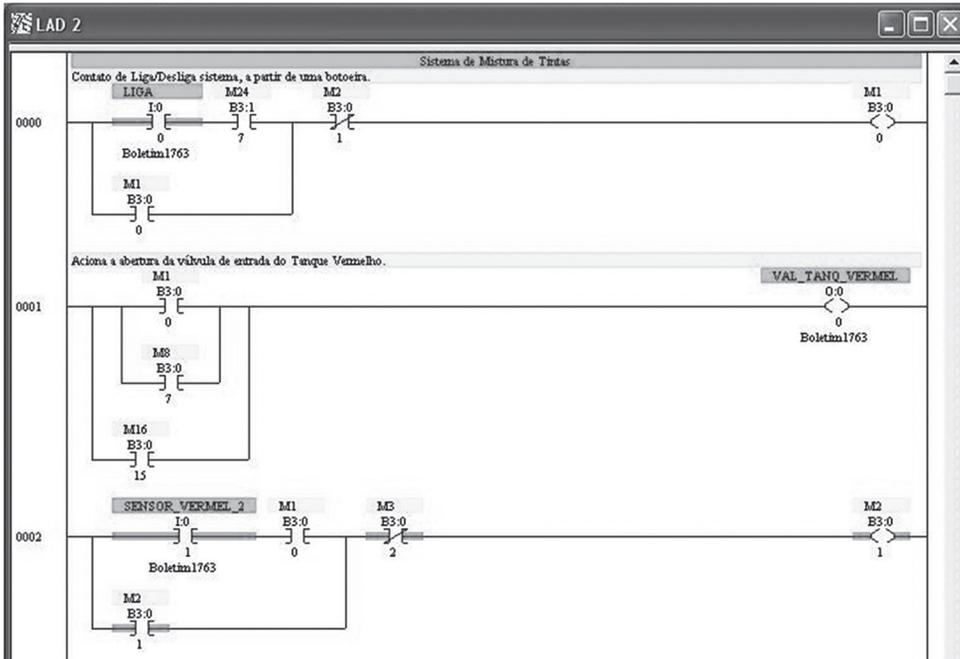


Figura 13: Parte do sistema de controle do sistema de teste

A partir da finalização da etapa que ajudou a verificar a lógica de controle e também o modelo de simulação, iniciou-se a etapa de elaboração dos modelos conceituais, baseados nas técnicas de Fluxograma e IDEF-SIM. Os testes visaram alcançar a melhor maneira de representar, simultaneamente, tanto o modelo de simulação quanto o sistema de controle, utilizados no projeto. Para o desenvolvimento dessa etapa, foi necessário o estudo prévio de ambas as técnicas para em seguida iniciar a fase prática. Construir um modelo que seja capaz de representar o controle do processo e o modelo de simulação implementado, proporcionou algumas dificuldades, principalmente com relação à interpretação do que estava sendo elaborado.

Com os testes realizados a partir do desenvolvimento dos modelos conceituais propostos, utilizando Fluxograma e IDEF-SIM, foram avaliados alguns princípios que se ajustam melhor em aplicações específicas. Por exemplo, a explícita noção de tomada de decisão pode fazer do Fluxograma uma técnica mais adequada para a modelagem de um sistema de manufatura. Entretanto, quando se trata da movimentação de fluxos em um sistema, o Fluxograma já não responde de forma apropriada.

Outro fator intrigante do Fluxograma é a facilidade de desenvolvimento a partir de uma nova ideia ou de um sistema já implementado. Por outro lado, quanto maior

o sistema, mais quantidades de blocos serão utilizados e, dessa forma, maior será o modelo conceitual. Esse fator prejudica o entendimento e a compreensão por outras pessoas, o que pode comprometer o sucesso do trabalho.

Por fim, deve-se observar que quanto maior a complexidade do sistema, mais difícil é a modelagem utilizando o Fluxograma, apesar de a simplicidade ser um aspecto forte e importante dessa técnica.

Por outro lado, com os testes foi possível observar que o IDEF-SIM pode inicialmente oferecer vantagens quanto ao desenvolvimento claro de um modelo conceitual que visa evidenciar o modelo de simulação. Contudo, quando se trata da parte lógica do sistema de controle em questão, essa técnica não se mostra tão eficiente e pode gerar dúvidas na representação e interpretação dessa parte. Em alguns casos, a utilização dessa técnica pode requerer um conhecimento prévio e específico por parte do interessado em entender o modelo conceitual.

Abaixo, a Tabela 1 apresenta uma tabela comparativa que fornece de forma mais clara e resumida algumas características das duas abordagens.

Tabela 1: Características das Técnicas de Modelo Conceitual

Características	Fluxograma	IDEF-SIM
Tomada de Decisão e Processamento	X	
Movimentação de Fluxos		X
Facilidade e Simplicidade de Elaboração	X	
Detalhamento mais Amplo dos Elementos		X
Foco no Modelo de Simulação		X
Foco na Lógica de Controle	X	

Conforme é exposto na tabela, são fornecidas seis características que foram observadas durante o desenvolvimento desse trabalho e a construção dos modelos baseados no Sistema de Mistura de Tintas.

Dessa forma, é importante ressaltar que as duas técnicas propostas possuem fatores decisivos para criar um modelo conceitual.

Considerações Finais

O trabalho avaliou de forma positiva a aplicação da linguagem IDEF-SIM para a construção de modelos conceituais a serem empregados na elaboração de modelos de simulação a eventos discretos e sistemas de controle de processos automatizados. Com isso, pode-se fazer um único modelo conceitual, dito unificado, e este ser utilizado em ambas as abordagens.

A técnica de Fluxograma é básica e simples, além de evidenciar todas as lógicas

de controle que o sistema possuir. Entretanto, quando se trata do modelo de simulação, o Fluxograma não apresenta detalhes que são importantes na sua construção. Com isso, nota-se que essa técnica é de fácil compreensão do sistema de controle, mas para a representação do modelo de simulação seria necessário acrescentar elementos que complementassem a ausência de informações.

É importante observar que um detalhamento exagerado do modelo conceitual pode torná-lo de difícil construção e compreensão, independentemente do tipo da técnica que está sendo aplicada. Em vista do que foi apresentado, fica como sugestão a ideia de aprimorar a técnica IDEF-SIM, de forma a deixar mais clara a lógica de controle proposta para o sistema em questão.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo suporte financeiro para esta pesquisa.

Referências

AGUILAR-SAVÉN, R. S. Business process modeling: review and framework. *International Journal of Production Economics*, n. 90, 129-149, 2004.

BANKS, J. et al. *Discrete-event system simulation*. 5th ed. Prentice Hall, 2009.

BAPTISTA, R. C. T. Simulação a eventos discretos de uma via semaforizada com controle automatizado em tempo real. *Revista Produção Online*, v. 13, p. 290-317, 2013.

DOUGALL, D. J. Applications and benefits of real time I/O simulation for PLC and PC Control Systems. *ISA Transactions*, v. 36, n. 4, p. 305-311, 1998.

LEAL, F. *Análise do efeito interativo de falhas em processos de manufatura através de projeto de experimentos simulados*. 238 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)– Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2008.

LEAL F.; ALMEIDA, D. A. de; MONTEVECHI, J. A. B. Uma proposta de técnica de modelagem conceitual para simulação através de elementos do IDEF. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 40., 2008, João Pessoa, PB. *Anais...* João Pessoa, PB, 2008.

MONTEVECHI, J. A. B. et al. Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted idef: an application in a Brazilian tech company. In: SIMULATION CONFERENCE, 2010, Baltimore, MD. *Proceedings...* Baltimore, MD, Winter, 2010, p. 1624-1635.

OGATA, Katsuhiko. *Engenharia de controle moderno*. Rio de Janeiro: Pearson; Prentice Hall, 2003.

RANGEL, J. J. A.; SOUZA, A. A.; BASTOS, P. J. T.; BAPTISTA, R. C. T. Simulação a eventos discretos para treinamento em sistemas de controle. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, v. 4, p. 97-111, 2012.

ROBINSON, S. Conceptual modelling for simulation part I: definition and requirements. *Journal of the Operational Research Society*, v. 59, n. 3, p. 278-290, 2007.

SMITH, J. S.; CHO, Y. Offline commissioning of a PLC-Based Control System Using Arena. In: SIMULATION CONFERENCE, 2008, Miami, USA. *Proceedings...* Miami, USA, p. 1802-1810, Winter, 2008.

SOUZA, A. A.; RANGEL, J. J. A.; SOARES, M. B. Modelos de simulação a eventos discretos como ambiente de treinamento em controle digital. *Vértices*, Campos dos Goitacazes, v. 14, p. 133-144, 2012.

VAN DER ZEE, D. J.; VAN DER VORST, G. A. J. Guiding principles for conceptual model creation in manufacturing simulation. In: SIMULATION CONFERENCE, 2007, Washington, DC. *Proceedings...* Washington, DC, p. 776 – 784, Winter, 2007.

WYSK, Richard A.; PETERS, Brett A.; SMITH, Jeffrey S. A. Formal process planning schema for shop floor control. *Engineering Design and Automation Journal*, v. 1, n. 1, p. 3-19, 1995.

ZHANG, D. Z.; ANOSIKE, A. I. Modelling and simulation of dynamically integrated manufacturing systems. *Advances in Intelligent and Soft Computing*, v. 66, p. 865-876, 2010.

Artigo recebido em: 16 out. 2013
Aceito para publicação em: 4 dez. 2014