



## **Comissionamento Virtual aplicado nos Sistemas de Manufatura Atuais: Revisão da Literatura.**

Silva Junior IC, Asato OL, Nakamoto FY\*

*\*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Câmpus São Paulo, São Paulo/Brasil.*

**Resumo.** Atualmente os sistemas de manufatura tem enfrentado uma série de intensos desafios devido a um ciclo de vida de produto reduzido, a necessidade maior de personalização destes e a concorrência que se tornou global em diversos segmentos. À medida que os ciclos de vida dos produtos são reduzidos em um mercado em constante mudança, os sistemas de fabricação devem ter capacidade de resposta suficiente para adaptar seus comportamentos de forma eficiente a uma ampla gama de circunstâncias, tratando de forma efetiva os possíveis problemas como gargalos e *deadlocks*. Conseqüentemente, têm sido desenvolvidas novas técnicas de análise das estratégias de controle mediante o emprego do Comissionamento Virtual (CV). O CV é uma tecnologia de simulação que auxilia na análise e otimização das atividades de planejamento, implementação e de operação dos processos que são executados pelos sistemas de manufatura. Em geral, o projeto de sistema de controle se estende pela fase de comissionamento e testes, sendo esta executada após a instalação dos equipamentos, consiste na verificação e correção de falhas de funcionamento para que o sistema entre em operação. Tal abordagem pode conduzir a atrasos na implementação, reduzindo o desempenho da planta, dentre outros problemas. Com a utilização do CV os benefícios esperados são: a diminuição do *time-to-market*, a redução dos custos de implementação e operação, além do aumento da qualidade do sistema de controle. O objetivo do presente trabalho é apresentar o estado da arte a respeito do tema, analisando e expondo os conceitos e tecnologias envolvidos em sua aplicação nos sistemas de manufatura atuais.

**Palavras-chave.** *Sistemas de Manufatura, Comissionamento Virtual, Sistema de Controle, Simulação.*

**Introdução.** Atualmente diversos fatores estão impactando de forma profunda a administração da produção, como por exemplo, a demanda crescente por inovação dos processos produtivos, a escassez de recursos de produção, ciclos de vida de produto reduzidos, a necessidade maior de personalização destes produtos e um mercado cada vez mais dinâmico e competitivo. Estes fatores têm imposto intensos desafios às organizações produtivas, em um ambiente no qual as tendências de seus negócios mudam com uma velocidade nunca antes vista.

Diante deste cenário, as indústrias têm procurado implantar novas soluções com base em tecnologias inovadoras para garantir os atributos de flexibilidade e agilidade dos processos

produtivos. Dentre estas soluções têm-se a Manufatura Digital, que representa um conjunto de ferramentas que integra o ciclo de vida do produto com as estratégias de negócios das organizações.

Segundo (1) a Manufatura Digital consiste em um conjunto de ferramentas que integram o desenvolvimento do produto, planejamento do processo de manufatura e dos sistemas de segurança, utilizando para isto cenários de simulação criados para simular linhas de produção, fluxo de materiais, simulação humana, simulação dos dispositivos de segurança, *layouts* de plantas fabris, dentre outros. Sendo possível criar modelos hipotéticos através destes cenários para analisar o impacto de mudanças nos fluxos e/ou processos.

O termo fábrica digital tem sido usado por diversos autores para descrever o conjunto de modelos digitais, incluindo simulações tridimensionais, com o propósito de permitir o planejamento integrado para implementação ou aprimoramento de processos produtivos, sendo o Comissionamento Virtual, uma das ferramentas da manufatura digital. (2)

**Conceitos Fundamentais.** Neste trabalho é utilizada a definição de Sistemas de Manufatura proposta por (3), ou seja, os sistemas de manufatura são uma coleção de equipamentos e recursos humanos integrados que possui a função de realizar uma ou mais operações de processamento e/ou montagem na matéria prima, na peça ou em um conjunto inicial de peças. Ainda, segundo (7), incluem-se às operações as atividades de manipulação e transporte de itens.

É necessário destacar também, as definições de simulação, sistema e modelo, em que (4) define simulação como um processo de experimentação com um modelo detalhado de um sistema real para determinar como o sistema responderá a mudanças em sua estrutura, ambiente ou condições de contorno, sendo capaz de lidar de maneira eficaz com essas variações e proporcionar estimativas das influências destas sobre o desempenho do sistema.

Segundo (4), sistema é um conjunto organizado de entidades, tais como pessoas, equipamentos, métodos e peças, que trabalham juntas em direção a um objetivo específico. Por sua vez, modelo, de acordo com (1), é um grupo de objetos e ideias que compõe uma réplica simplificada de um sistema real ou planejado e seus processos, capaz de representar as interações entre suas partes, podendo diferir do original em propriedades dentro de uma tolerância especificada.

Têm-se ainda os conceitos de Comissionamento Real e Comissionamento Virtual. Comissionamento Real é o processo composto por testes e verificações do sistema de manufatura planejado em que ocorre a verificação real de desempenho deste sistema. O Comissionamento Virtual, segundo (1) compreende o teste final de controle, baseado em um modelo de simulação que garante a comunicação dos controles reais e virtuais com um modelo de simulação a uma taxa de amostragem suficiente para todos os sinais de controle.

No contexto do processo de simulação, (6) descreve que para representar sistemas complexos, como os sistemas de manufatura, a simulação a eventos discretos que é uma forma de analisar o

comportamento discreto dos sistemas de manufatura, ou seja, pertencem à classe de Sistemas Dinâmicos a Eventos Discretos (SDED). Os SDED são sistemas em que a evolução dos estados ocorre de forma assíncrona com bases na ocorrência de eventos que causam uma transição instantânea de estados, podendo inclusive, ocorrer situações de conflito e concorrência de eventos (7,13). Cada um dos processos executados em um sistema de manufatura é constituído por um conjunto finito de atividades pré-definidas, executadas de forma sequencial e/ou paralelo (10,11,12).

**Revisão da Literatura.** O estudo do Comissionamento Virtual iniciou-se há cerca de 17 anos, como forma de tornar possível integrar dispositivos reais e modelos de simulação antes que os sistemas reais sejam implementados (1). Existem quatro formas de comissionamento para a verificação dos programas de controle, segundo a natureza real ou virtual da planta industrial e do sistema de controles utilizados, estas formas estão descritas na tabela abaixo:

**Tabela 1.** Possibilidades de comissionamento segundo (adaptado de (1)).

Sistema de Controle	Sistema de Manufatura	Denominação	Características
Real	Real	Comissionamento Real	Integração entre Sistema de Controle e de Manufatura reais.
Real	Virtual	<i>Soft-Commissioning, Hardware-in-the-loop (HIL)</i>	O Sistema de manufatura é simulado, enquanto o controle é feito por dispositivos reais, com o objetivo de encontrar falhas nos programas destes dispositivos.
Virtual	Real	<i>Reality-in-the-loop (RIL)</i>	É normalmente utilizada para testar mudanças na lógica de controle de máquinas reais.
Virtual	Virtual	<i>Software-in-the-loop</i>	Comissionamento Virtual completo, também conhecido como <i>off-line simulation</i> .

As aplicações do Comissionamento Virtual são divididas em três níveis distintos: comissionamento virtual no nível de máquinas ou equipamentos individuais; comissionamento virtual no nível de linha de produção e comissionamento virtual no nível do sistema de produção.

(1) define como requisitos mínimos para o Comissionamento Virtual:

- a modelagem e a simulação virtual do sistema em análise;
- elementos físicos que pertencerão ao sistema e que serão previamente testados;

- um software de integração para haver a interação entre os elementos físicos e virtuais.

A área do Comissionamento Virtual passou por uma intensa investigação até os dias atuais, investigações estas que abordam principalmente suas aplicações técnicas e os benefícios esperados. Após revisar o status atual desta técnica, este artigo apresenta alguns dos estudos mais relevantes sobre o Comissionamento Virtual e os resultados de sua aplicação.

A tabela 2, abaixo descreve estes estudos:

**Tabela 2.** Estudos sobre o Comissionamento Virtual (C.V.) e os resultados de sua aplicação. (adaptado de (6)).

Autor	Área do estudo	Resultado
(Zäh <i>et. al</i> , 2006)	Identificar os efeitos positivos do C.V. na taxa de erro durante o comissionamento real.	Este estudo demonstrou que através da utilização do comissionamento virtual, houve uma redução de 75% do tempo de comissionamento real, além da melhoria da qualidade do software de controle.
(Reinhart and Wunsch 2007)	Comissionamento Virtual para sistemas de produção mecatrônicos.	Uma quantidade significativa de tempo e custo podem ser economizados no processo de aceleração da produção. Fornece um sistema com maior qualidade de software para a inicialização.
(Drath, Weber, and Mauser 2008)	-----	Este estudo demonstra uma reutilização contínua dos modelos V.C. através do ciclo de vida completo da engenharia.
(Møller, Chaudhry, and Jørgensen, 2008)	Arquitetura empresarial virtual para serviço de logística.	Validação de softwares de controles para automação, identificação precoce de erros e ações tomadas no início do processo de desenvolvimento. Alta visibilidade do estado da qualidade do software durante o processo de desenvolvimento, revelando problemas e possibilitando a tomada de ação no processo

		inicial. Teste contínuo em paralelo com a instalação enquanto o sistema real é ocupado por outras atividades. Baixo custo de desenvolvimentos e mudanças futuras.
(Seidel, Donath, and Haufe, 2012)	Ambiente de simulação e C.V. para controles de sistemas de manuseio de materiais.	O trabalho adicional de modelagem do processo de manipulação de material no simulador foi compensado com um estágio de comissionamento reduzido no local. O teste intenso dos programas dos Controladores Lógico Programáveis (CLPs) e Controlador de Fluxo de Materiais (CFM) aumentou significativamente a maturidade do software e reduziu o tempo necessário no local para 25% do tempo planejado.
(Makris, Michalos, and Chryssolouris, 2012)	Comissionamento Virtual de uma célula de montagem com robôs cooperantes.	Redução do tempo total de instalação em 15-25%. Redução dos custos de investimento diminuindo ao mínimo. O custo é reduzido ainda mais através da redução em até 15% dos recursos humanos, necessários para a resolução de problemas durante o processo de aceleração. Aperfeiçoamento da re-configurabilidade de montagem.
(Ko, Ahn, and Park, 2013)	Comissionamento Virtual entre um controlador real e uma planta virtual em um sistema de produção.	Redução nos atrasos do <i>time-to-market</i> .
(Hloska and Kubín, 2014)	Comissionamento Virtual de sistemas mecatrônicos	Redução do processo de Procedimento Operacional Padrão. Possibilidade de realizar parte deste processo em um ambiente mais conveniente (não necessariamente no local) combinado com a oportunidade de usar o modelo de emulação para treinamento de trabalhadores.



		Desenvolvimento paralelo e otimização de peças mecânicas, especialmente mecanismos mecatrônicos. Programação e depuração simultâneas do software de controle (de CFM ou CLPs individuais).
--	--	--

**Conclusão.** Para que a utilização desta técnica sejam bem sucedida, independente de qual nível ela seja aplicada, é necessário que os modelos destes sistemas de manufatura sejam suficientemente detalhados na simulação, fato este, que exige um esforço considerável e um alto nível de conhecimento e experiência dos responsáveis por esta modelagem, que juntamente com os recursos computacionais necessários para a execução da simulação, tornam este, um processo com custo elevado, dificultando assim a utilização do Comissionamento Virtual por pequenas e médias empresas.

Porém, através dos estudos citados acima é possível verificar tantos os benefícios técnicos quanto econômicos da utilização da técnica de Comissionamento Virtual no planejamento, concepção e testes dos sistemas de manufatura atuais, causando impacto direto em fatores como a diminuição do *time-to-market*, a redução dos custos de implementação e operação, além do aumento da qualidade do sistema de controle.

## Referências

- (1) Portelinha, Rodrigo Parzianello. Comissionamento virtual aplicado à automação de processos de manufatura: organização do conhecimento. Dissertação de Mestrado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, 2014. 99 pgs
- (2) Cruz, Flavio da. Comissionamento Virtual: Ferramentas de Validação de Programas de Sequencias Automatizadas de Manufatura. III Congresso Internacional de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento. Taubaté, 2014.
- (3) Groover MP. Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing. New Jersey: Ed. Prentice-Hall, 2011. pp. 43-60.
- (4) Bateman R.E. *et. al.* Simulação de Sistemas, aprimorando processos de logística, serviços e manufatura. 5ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 161pgs.
- (5) Auinger, F.; Vorderwinkler, M.; Buchtela, G. Interface Driven Domain Independent Modeling Architecture for "Soft-commissioning" and "Reality in the loop". In: Winter Simulation Conference, 1999, Phoenix. Proceedings, Piscataway, IEEE, 1999.v. 1, p. 798-805.



- (6) Shahim, N.; Moller, C. Economic Justification of Virtual Commissioning in Automation Industry. In: Winter Simulation Conference, 2016, Washington. Proceedings, IEEE, 2016.v. 1, p. 2430-2441.
- (7) Nakamoto, F. Y. “Projeto de sistemas modulares de controle para sistemas produtivos”. 2008. 158 pgs. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.
- (8) Hoffman, P. *et al.* Virtual Commissioning of Manufacturing Systems: a review and new approaches for simplification. In: European Conference On Modelling and Simulation, 24., 2010, Kuala Lumpur. Proceedings, Seri Kembangan: Maha Cetak, Trading, 2010. p. 175-181.
- (9) Makris, S.; Michalos, G.; Chryssolouris, G. Virtual Commissioning of an Assembly Cell with Cooperating Robots. *Advances in Decision Sciences*, v. 2012, p. 1-11, 2012.
- (10) Nakamoto FY, Santos Filho DJ, Miyagi PE. Resource allocation control in flexible manufacturing systems using the deadlock avoidance method. *ABCM Series in Mechatronics*, pp. 454-460, 2008.
- (11) Asato OL, Pessoa MAO, Junqueira F, Santos Filho DJ, Okamoto Junior J, Miyagi PE. Using the enhanced - mark flow graph for dynamic resource allocation in distributed manufacturing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 29, pp. 1-14, 2015.
- (12) Santos Filho DJ, Nakamoto FY, Junqueira F, Miyagi PE. Task control of intelligent transportation vehicles in manufacturing systems. *Mechatronics Series 1: Intelligent transportation vehicles*, Vol. 1, Dubai: Bentham Science Publishers, pp. 146-169, 2011.
- (13) Miyagi M, Kisil M, Santos Filho DJ, Maruyama N, Miyagi PE. Modelagem de serviço de saúde utilizando rede de Petri. 4º SBAI – Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, São Paulo, 2000.