

APLICAÇÃO DA INTERNET DAS COISAS EM SISTEMAS PRODUTIVOS COM FOCO NA INDÚSTRIA 4.0

LUCAS H. SAKURAI, MARCOS A. PISCHING, MARCOSIRIS A. O. PESSOA, FABRÍCIO JUNQUEIRA, PAULO E. MIYAGI

*Departamento de Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânicos,
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Av. Prof. Mello Moraes, 2231, São Paulo, SP, Brasil*

E-mails: {lucas.sakurai,marcos.pisching,marcosiris,fabri,pemiyagi}@usp.br

Abstract— With the evolution of information and communication technologies, and especially the rise of the Internet, emerge two new concepts for production systems: the Internet of Things and Cyber-Physical Systems, proposing the integration of all elements (actors, devices, equipment, functionalities and services) of production systems composing a complex network of materials and information processing. The union of the different concepts involved form the basis of the fourth industrial revolution, also called “Industry 4.0”, which reviews the productive systems with the functionalities offered by information and communication technology for production control and management, allowing communication between products and machinery and thereby provides on-demand solutions according to customer specifications. However, practical implementation of the Industry 4.0 requires new deployment methods and system’s architectures such as, for communication between products and machines in existing productive systems. This work thus introduces a use case for applying the concept of IoT in a production line involving the interaction among parts, machines and controllers by Radio Frequency Identification sensors applied to a Modular Production System.

Keywords— Industry 4.0, Internet of Things, Cyber-Physical Systems, Productive Systems.

Resumo— Com a evolução das tecnologias de informação e comunicação e, principalmente, a ascensão da Internet, despontam dois novos conceitos para os sistemas produtivos: a Internet das Coisas e os Sistemas Ciber-Físicos, que propõem a integração de todos os elementos (atores, dispositivos, equipamentos, funcionalidades e serviços) dos sistemas produtivos compondo uma rede complexa de processamento de materiais e informações. A união dos diferentes conceitos envolvidos forma a base da quarta revolução industrial, também chamada de “Indústria 4.0” que revisa os meios de produção com as funcionalidades disponibilizadas pela tecnologia da informação e comunicação para gestão e controle da produção, possibilitando a comunicação entre produtos e máquinas e, com isso, prover soluções sob demanda de acordo com as especificidades do consumidor. Contudo, a implementação prática da “Indústria 4.0” requer novas arquiteturas métodos de implantação como, por exemplo, para a comunicação entre produtos e máquinas de sistemas produtivos já existentes. Este artigo introduz assim um estudo de caso para a aplicação do conceito de IoT numa linha produtiva envolvendo a interação entre peças, máquinas e controladores por meio de sensores de Identificação por Rádio Frequência e, aplicado a um Sistema Modular de Produção.

Palavras-chave— Indústria 4.0, Internet das Coisas, Sistemas Ciber-Físicos, Sistema Produtivo.

1 Introdução

Atualmente os meios de produção baseiam-se em conceitos derivados do que tem sido chamado de terceira revolução industrial, iniciada na década de 40, quando os dispositivos de controle eletrônicos foram introduzidos e, posteriormente, em meados da década de 70, com o auxílio da tecnologia da informação que estabeleceu um novo panorama no cenário produtivo, possibilitando aumento significativo do volume produzido e, reduzindo custos e tempo de fabricação. Porém, a evolução dos processos de produção continua acompanhando o ritmo das mudanças geradas pela expansão da Internet. Tal contexto começa a ser considerado também dentro das indústrias que devem explorar melhor a possibilidade de interligação de máquinas em rede, atuando com certo grau de autonomia com seus sensores e sistemas de controle próprios, criando um grande volume de dados e que atualmente é denominado *Big Data* (Lee *et al.*, 2015). Este cenário marca o início da quarta revolução industrial, também chamada de “Indústria 4.0”, que tem como objetivo a consolidação de indústrias inteligentes que reduzem significativamente a intervenção humana em seus processos produtivos, devido à comunicação automática entre os compo-

nentes da produção e por estes possibilitarem a monitoração em tempo real por meio de ambientes virtuais utilizando as tecnologias de comunicação e informação (Kagermann *et al.*, 2013).

Os sistemas ciber-físicos (*Cyber-Physical Systems – CPS*), cuja ênfase está no mapeamento do mundo real para o mundo virtual, surgem também nesse contexto para integrar os diversos componentes do sistema produtivo, onde os sistemas embarcados além de potencializar a autonomia das máquinas dispõem de recursos para a intercomunicação entre elas (Aelker *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2014). Essa combinação entre mundo-real e mundo virtual possibilita uma maior interação entre as partes com intensa troca de dados entre todas as partes envolvidas (Zhang, 2013). Com o CPS visa-se atender uma demanda crescente por produtos cada vez mais personalizados em contraste com o modo de produção atual baseado em linhas de produção com poucas interações com outros componentes de uma rede de entidades que compõem uma cadeia produtiva (Nagorny *et al.*, 2012; Aelker *et al.*, 2013; Shi *et al.*, 2011).

A interação entre os componentes dos sistemas produtivos ciber-físicos baseia-se no conceito da Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*), que possibilitam a troca de informação com produtos

(“coisas”) por meio de uma identificação única e o uso de sensores que captam sinais vindos dos mesmos. Esta comunicação é integrada a serviços e sistemas gerenciadores de banco de dados da indústria, por meio dos quais é possível identificar o produto e conhecer qual o seu estado atual, assim como quais processos ainda devem ser realizados naquele produto específico e, finalmente, transmite-se os devidos comandos para as máquinas que devem efetuar a operação no mesmo. Esse sistema permite uma maior flexibilidade do plano de produção em comparação com os sistemas atuais, onde as linhas de produção são especializadas e os processos não podem ser definidos dinamicamente (Dombrowski *et al.*, 2013).

No cenário da “Indústria 4.0”, as máquinas poderão ser cada vez mais autônomas e, por esse motivo, são denominadas máquinas inteligentes, no sentido de que são capazes de interpretar e também enviar dados sobre as condições da produção, podendo inclusive identificar possíveis ou eventuais falhas (Lee *et al.*, 2014). Assim quando necessário é possível realizar um replanejamento quanto ao funcionamento do maquinário e às manutenções e reposições necessárias.

O aumento na variabilidade de produtos feitos em um único sistema produtivo e a utilização de máquinas inteligentes tem como consequência a redução nos custos da empresa, haja vista que o tempo para reorganizar e reprogramar as instalações físicas e o plano geral de produção para cada produto específico são minimizados. Explorando os conceitos de IoT e CPS, é possível criar indústrias inteligentes, onde ocorre a comunicação entre todas as entidades da produção, conferindo uma maior flexibilidade quanto aos processos envolvidos (Kagermann *et al.*, 2013). O mesmo maquinário pode ser explorado para produzir produtos distintos e gerar dados para a otimização de sua produção (Lee *et al.*, 2014).

Neste sentido, o movimento denominado como “Indústria 4.0”, visa a solução autônoma de gargalos que podem ocorrer na linha de produção e proporcionar um sistema mais flexível por intermédio de uma rede colaborativa de produção. Neste ambiente os componentes conectados entre si realizam trocas de dados para ajustar a cadeia produtiva conforme as necessidades dos consumidores de maneira rápida e eficaz, seja para a criação de novos produtos ou para a produção sob demanda e personalizada (Pisching *et al.*, 2015).

Além disso, o cenário atual indica a necessidade de revisão das estruturas organizacionais dos sistemas produtivos, considerando que os componentes de um CPS apresentam um grau maior de autonomia que não são compatíveis com as estruturas hierárquicas convencionais de controle e tomada de decisões sobre os processos produtivos, isto é, o foco está em mudanças benéficas na forma com que os seres humanos interagem com os sistemas produtivos do mundo real através de interfaces virtuais (Rajkumar *et al.*, 2010).

É necessário assim adquirir mais conhecimento, obter mais dados e caracterizar melhor os problemas

de uma implementação prática de CPS e IoT com foco na “Indústria 4.0”. Uma das abordagens para isso é o desenvolvimento de estudos de casos específicos associados a propostas de arquiteturas e métodos de aplicação que possibilitem a análise de comportamentos e aceitação em sistemas existentes. A proposta nesse artigo é implementar o conceito de IoT baseado na arquitetura apresentada na Figura 1, proposta por Pisching *et al.* (2015a) e Pisching *et al.* (2015b) na comunicação entre máquinas e peças. A ideia é explorar tecnologias já disponíveis como a OPC (*Open Platform Communication*) e RFID (*Radio Frequency IDentification*).

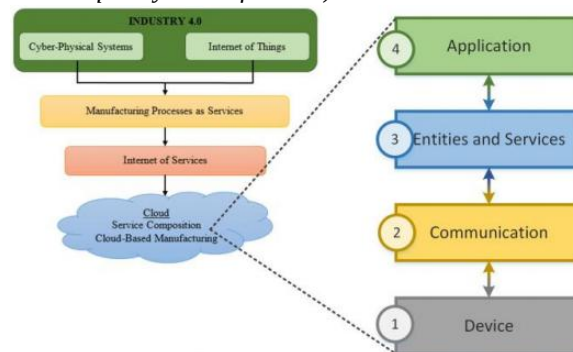


Figura 1 - Arquitetura IoT básica (Pisching *et al.*, 2015a).

Este artigo está organizado em 4 seções. Na seção 1 é contextualizado o tema geral da pesquisa. Na seção 2 é apresentada a revisão bibliográfica dos conceitos fundamentais utilizados para o desenvolvimento deste artigo. A seção 3 apresenta a proposta e um exemplo de aplicação e, finalmente, na seção 4 são tecidas as considerações finais.

2 Revisão Bibliográfica

No contexto da “Indústria 4.0” todas as etapas de produção são interligadas e podem ser monitoradas remotamente através de um ambiente virtual (Wright, 2014). Apresenta-se a seguir os principais conceitos considerados para implantar o conceito de IoT baseado na arquitetura apresentada na Figura 1, na comunicação entre máquinas e peças, por meio do uso da tecnologia OPC e sensores e TAGs RFID.

2.1 Internet of Things (IoT)

O conceito de IoT considera a comunicação entre produtos, máquinas, consumidores e elementos da produção, onde cada objeto (“coisa”) possui uma identificação própria. Assim, os objetos podem se comunicar entre si independentemente da ação de usuários (Kramp *et al.*, 2013). Inicialmente, tal conceito envolvia apenas objetos identificados por meio da tecnologia RFID, porém, atualmente engloba outras tecnologias como sensores, atuadores, dispositivos móveis com GPS e celulares. A intercomunicação entre diferentes objetos, é a principal característica da IoT (Xu *et al.*, 2014). Na área industrial a IoT é aplicada para localizar e rastrear os estados dos produtos e máquinas, seja dentro de uma planta industrial ou exteriormente a ela, (Kramp *et al.*, 2013). Os

produtos são identificados através de TAGs que carregam informações sobre quais processos são requisitados para o seu produto final e quais direções serão tomadas dentro da linha de produção (Xu *et al.*, 2014; Pisching *et al.*, 2015b). Tais informações são repassadas para as máquinas inteligentes, que interagem com as peças e entre si, criando um ambiente produtivo mais dinâmico e flexível com menor intervenção humana (Kagermann *et al.*, 2013). A mesma abordagem também é aplicada na área de logística para a monitoração em tempo real de objetos (Kramp *et al.*, 2013).

A aplicação do conceito de IoT em indústrias pode seguir a arquitetura mostrada na Figura 1, onde a camada 1 (*Device*) agrupa os dispositivos envolvidos na produção, como máquinas, CLPs (Controladores Lógicos Programáveis), sensores, atuadores e outros equipamentos. Já a camada 2 (*Communication*) representa toda a rede de comunicação de dados entre as camadas 1 e 3, podendo ser a rede que integra as máquinas com seus respectivos sensores e atuadores, bem como a comunicação entre máquinas e produtos. A camada 3 (*Entities and Services*) agrupa as entidades virtuais que representam entidades reais e armazenam informações sobre o estado atual das mesmas, por exemplo, o estado atual das máquinas, se estão em operação ou não, ou ainda, os processos e as informações pertinentes para manufaturar um produto personalizado sob demanda. Por fim a camada 4 (*Application*) oferece uma interface para os serviços a serem utilizados pelo usuário, ou seja, é a camada que o usuário interage diretamente, podendo solicitar, monitorar ou localizar determinado produto.

2.2 Cyber-Physical Systems (CPS)

O CPS num sistema produtivo é caracterizado por uma intensa comunicação entre máquinas, sensores e computadores, onde os dados obtidos pelos sensores são repassados aos computadores que realizam monitoração dos processos em tempo real (Wright, 2014). A ideia é que isso assegura a integração entre o mundo real e o virtual por meio do fluxo de dados entre as partes, gerando um sistema mais versátil que os existentes atualmente (Dombrowski, 2013), uma vez que processos podem ser reorganizados sem a necessidade de intervenções manuais, pois através do mundo virtual (e seus algoritmos de tomada de decisões e controle) é possível manipular a linha de produção remotamente, realocando os serviços de maneira rápida e eficaz. Com tais funcionalidades, a fábrica é capaz de ao mesmo tempo enfrentar situações anormais e gerar produtos cada vez mais específicos para o consumidor, pois com a versatilidade da linha de produção, diferentes produtos podem passar por tipos e sequências específicas de processos dentro de uma mesma fábrica (Riedl *et al.*, 2014).

2.3 Open Platform Communication (OPC)

Inicialmente denominado *Object Linking and Embedding for Process Control* (OLE for PC) é uma série de padrões definidos pela entidade *OPC Foundation* para a troca de informações entre dispositivos

de diferentes fabricantes por meio de uma camada de interface de *software* entre eles, capaz de traduzir as informações para que os dispositivos consigam se comunicar entre si, sem a necessidade da instalação dos *drivers* (Fonseca, 2002). Tal conceito surgiu a partir da tecnologia *Object Linking and Embedding* (OLE) da empresa Microsoft, que possibilitava o fluxo de informações entre duas aplicações (programas computacionais) diferentes dentro da plataforma Windows, que mais tarde seria substituída pelo DCOM (*Distributed Component Object Model*), que define a implementação de uma rede de comunicação tipo “cliente e servidor” entre aplicações presentes em diferentes computadores (Garcia Melo *et al.*, 2010).

Com base nas tecnologias DCOM e OLE, o OPC busca, por meio de ferramentas de softwares, padronizar a interface entre aplicações de servidor e cliente. Assim, por meio de interfaces padronizadas, a integração entre sistemas é simplificada, pois não é necessário o uso de diversas tecnologias para interligar clientes e servidores, e as aplicações podem se comunicar em tempo real (Fonseca, 2002). O OPC é essencial para que a comunicação entre os mesmos seja feita de forma síncrona e eficaz, evitando problemas de compatibilidade entre os dispositivos utilizados.

2.4 Radio Frequency Identification (RFID)

RFID é uma tecnologia de identificação por meio do uso de ondas eletromagnéticas na comunicação entre um dispositivo sensor chamado de Leitor RFID e um tipo de etiqueta/rótulo chamado de TAG. Uma TAG armazena a sua identificação (*TAG Identifier – TID*), e um conjunto de dados, cujo tamanho depende da capacidade de armazenamento da mesma (Velandia *et al.*, 2016).

As TAGs são ativadas pelo campo eletromagnético emitido pelo Leitor RFID e emitem um sinal de volta. Sua estrutura consiste de um *chip* conectado a uma antena presente dentro da TAG (Want, 2006).

No contexto da “Indústria 4.0”, a tecnologia RFID é explorada para identificar os produtos possibilitando a localização e o rastreamento dos mesmos dentro da linha de produção, a fim de se obter dados sobre seu estado e auxiliar no seu direcionamento (Mansour *et al.*, 2014) durante seu ciclo de vida (Pisching *et al.*, 2015a). Com isso, dentro do conceito de OPC, a TAG, quando lida por um leitor RFID, fornece informações sobre o produto/peça e, assim, com base em tais informações uma aplicação cliente OPC, atuando junto com um sistema de controle, consegue decidir quais processos devem ser aplicados no mesmo.

Apesar do volume de artigos escritos sobre o tema da “Indústria 4.0”, há uma escassez de aplicações práticas dos mesmos e os resultados ainda são superficiais, principalmente no que diz respeito ao uso de arquiteturas e de procedimentos de aplicação dos conceitos.

Em Mansour e Jelassi (2014) foi apresentada uma arquitetura para utilização de RFID, OPC para o contexto de Indústria 4.0 (Figura 2).

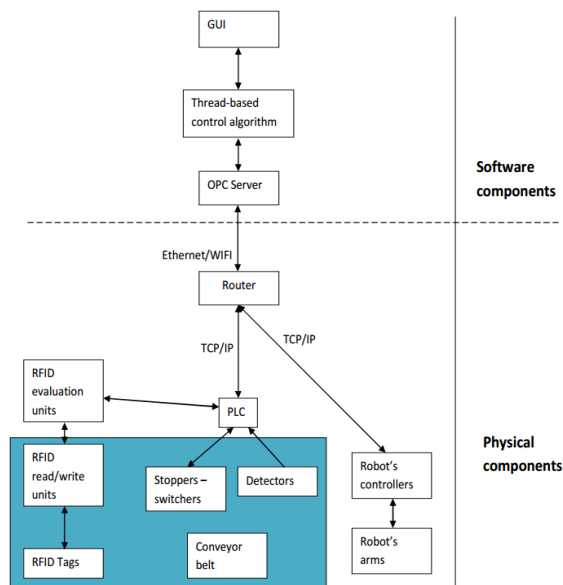


Figura 2 - Arquitetura da Utilização de RFID e OPC no contexto de Indústria 4.0 (MANSOUR; JELASSI, 2014).

A arquitetura proposta por Mansour e Jelassi (2014) é baseada em um servidor OPC que comunica dados entre os dispositivos dos sistemas e um algoritmo de controle da linha base. A tecnologia RFID desempenha um papel importante, pois possibilita ao sistema a capacidade para distinguir diferentes produtos. As RFIDs TAGs são fixadas em pallets e os leitores de RFID são incorporados no sistema. Pela Figura 2 é possível perceber que o leitor de RFID é conectado diretamente ao PLC fornecendo as informações pertinentes as TAGs. Segundo Mansour e Jelassi (2014) a arquitetura proposta possibilitou um total controle otimizado num sistema flexível de manufatura e com o uso do RFID foi possível obter um sistema menos centralizado.

3 Procedimento e Aplicação

Baseado na arquitetura de IoT proposta por Pisching et al. (2015a) (Figura 1), nesta seção é apresentado o procedimento para aplicação da arquitetura, seguido de um exemplo de aplicação.

3.1 Procedimento

Para implementar a IoT no contexto da “Indústria 4.0” baseada na arquitetura já mencionada, são propostos dois procedimentos.

O primeiro concentra o conjunto de etapas a serem realizadas para contextualizar e delimitar o domínio do problema do sistema produtivo a ser transformado. As etapas proposta nesse procedimento são reproduzidas a seguir:

1) Análise do SP – Nesta etapa é realizada delimitação do escopo do SP para compreender o domí-

nio do problema. É realizado também o levantamento das condições de operação do SP.

2) Definição do SP – Esta etapa envolve o levantamento de requisitos do SP e as operações de cada módulo produtivo (exemplo: distribuição, teste, processamento, montagem).

3) Identificação dos componentes de controle – é realizada a identificação de sensores e atuadores, assim como as entradas e saídas do SP (para poderem ser mapeados para um sistema lógico capaz de controlar estas operações via *software*).

4) Documentação do SP – trata-se da representação do SP e suas características. Esta representação pode ser por meio de um diagrama de fluxo de operações com o respectivo mapeamento dos dispositivos de entrada/saída.

O segundo procedimento consiste das etapas a serem desenvolvidas para aplicar a IoT e possibilitar a comunicação entre produtos e máquinas evidenciadas no primeiro procedimento do SP. As etapas deste procedimento são discriminadas a seguir:

1) Análise dos pontos de comunicação – Nessa etapa são identificados os pontos de comunicação (RFID), os quais devem possibilitar o reconhecimento de uma peça/produto e a partir disso oferecer recursos e rotas para os processos de manufatura.

2) Definição dos pontos de comunicação – Trata-se da definição de cada ponto de comunicação e a tecnologia que deverá ser utilizada.

3) Análise das entidades envolvidas – É o levantamento das peças/produtos (entidades) envolvidos nos processos de manufatura, para assim definir suas características e os processos necessários para sua manipulação no SP.

4) Definição das atividades nos pontos de comunicação – É o estabelecimento dos possíveis processos a serem executados quando uma entidade é detectada num determinado ponto do SP.

5) Construção de um modelo conceitual do projeto e aplicação – dado o levantamento das especificidades do sistema é realizada um modelo conceitual que representa o projeto, para então prosseguir com a implementação por meio de tecnologias consolidadas no mercado, tais como, OPC, RFID, entre outras.

3.2 Aplicação da proposta – primeiro procedimento

Como exemplo de aplicação do método descrito anteriormente, tem-se uma linha de produção de cinco etapas. Nesse caso é utilizado um sistema de produção modular (MPS – *Modular Productive System*) da empresa Festo (Figura 3), sendo quatro com atuadores principais pneumáticos e um elétrico, e cada módulo representa uma etapa de produção. Nessa linha produtiva originalmente a peça é direcionada de acordo com a leitura feita por diversos sensores presentes nos módulos, como por exemplo, sensor de cor, sensor de altura e sensor de posição.

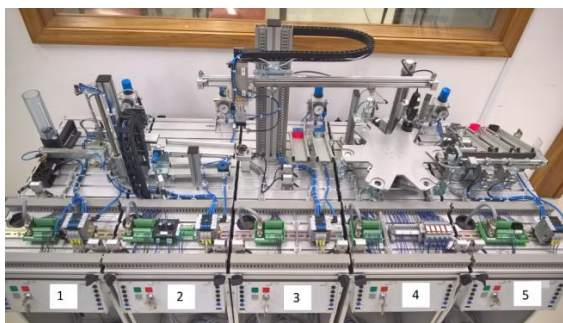


Figura 3 - Módulos MPS

Nessa linha de produção se trabalha com seis tipos de produtos finais, que são corpo preto, vermelho e metálico, com ou sem tampa (Figura 4).



Figura 4 Tipos de peças

O módulo 1 realiza a alimentação de peças na linha de produção. A peça de trabalho é alimentada ao sistema por meio do movimento de um braço giratório pneumático de eixo único com uma ventosa para a sucção das peças. Através de um sensor óptico, o controlador identifica a presença da peça dentro do módulo, acionando a atuação de um cilindro que move a peça até o local de onde o braço giratório irá transportar a mesma até o próximo módulo.

O módulo 2 realiza testes na peça e segundo os critérios estabelecidos, este segue para o próximo módulo, ou pode ser descartada, depositada na rampa inferior. A peça é examinada por meio de um sensor de altura e um de cor. Pela atuação do módulo elevador é colocada na rampa superior ou inferior.

No módulo 3 é realizado o transporte da peça para três possíveis rotas de acordo com a classificação feita, sendo duas nas rampas presentes no módulo e a outra rota seguindo para o próximo módulo. O sensor identifica a cor da peça, e a garra pneumática atua sobre a peça transportando a mesma para a rota definida.

O módulo 4 oferece recursos para emular um processo de usinagem na peça. Um sensor elétrico identifica a presença do furo na peça, em seguida o módulo de furação atua sobre a mesma, emulando um processo de furação na vertical. Nesse módulo o transporte da peça ocorre pela ação da mesa rotativa.

No módulo 5 acontece o processo de triagem da peça em três esteiras de parada diferentes. Há dois tipos de sensores, óptico e indutivo, assim a peça é direcionada para uma das três rampas presentes no módulo de acordo com o seu tipo e cor, estabelecidos no código.

As posições dos módulos, exceto os módulos 1 e 5, podem ser reconfiguradas de acordo com o projeto estabelecido, o que o torna um ambiente flexível e dinâmico para aplicação dos conceitos envolvidos na “Indústria 4.0”.

3.3 Aplicação da proposta – segundo procedimento

A partir do levantamento do SP, se define os pontos de comunicação que, nesse caso, são os sensores presentes nos módulos.

Utilizando os módulos, TAGs e leitores RFID, a estrutura da Figura 5 foi concebida. Em cada módulo a peça transmite as informações contidas na TAG RFID por meio de um sensor (Leitor RFID). Através da camada de comunicação a informação é repassada para a entidade RFID Server, na qual ocorre o processamento da informação e identificado o tipo de processo a ser executado. O RFID Server deve possuir um cliente OPC para se comunicar com o OPC Server e assim enviar os comandos de acordo com as informações coletadas sobre a peça. Assim, cada módulo do SP é controlado via OPC Server, e responde a requisições de um cliente OPC. As instruções são enviadas ao CLP que aciona os controles na máquina. Logo, por meio das TAGs e sensores RFID, pode-se realizar um direcionamento da peça de acordo com as informações contidas em sua representação virtual, ou seja, dada as tarefas necessárias para a produção o cliente OPC interage com o OPC Server que irá atualizar os dados na linha de produção e assim acionar os mecanismos para direcionar a peça para o processo correto.

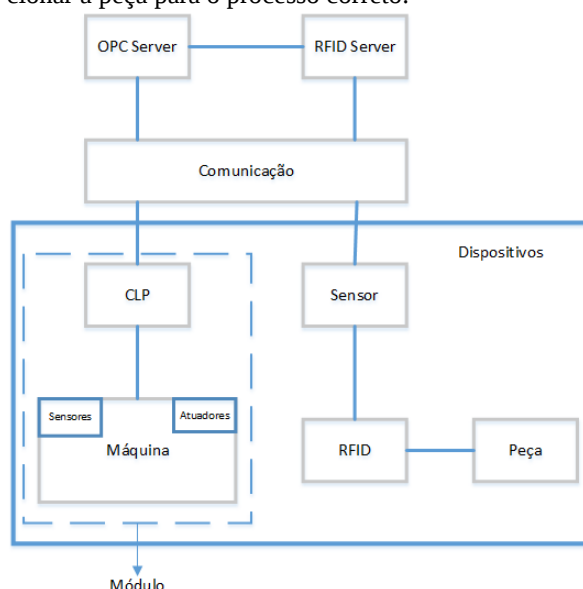


Figura 5 – Estrutura para a comunicação entre peças e máquinas

Com este exemplo de aplicação tem-se uma solução prática para localizar e rastrear as peças/ produtos mesmo durante a evolução dos processos de manufatura. Isto é, no sistema desenvolvido os produtos e as máquinas mantêm uma comunicação de modo que se pode monitorar continuamente a evolução dos processos e se for o caso alterar de modo relativamente autônomo a execução desses. Assegura-se assim a flexibilidade e versatilidade do sistema produtivo que atende um dos principais anseios da “Indústria 4.0”, a produção sob demanda e personalizada. É possível perceber pela Figura 2 e Figura 4 que a arquitetura proposta neste trabalho possibilita uma maior flexibilidade na utilização do

RFID se comparado com a arquitetura proposta por Mansour e Jelassi (2014), pois os leitores RFID não estão conectados diretamente aos PLC, desta forma os leitores RFID podem receber informação de mais de um PLC ao mesmo tempo, o que não acontece na proposta de Mansour e Jelassi (2014).

4 Considerações finais

Com o presente trabalho verifica-se que a aplicação de IoT o sistema de produção se torna mais flexível, pois no caso alterações do tipo de produto a ser produzido, não se necessita de uma revisão do plano geral de produção, isto é, a linha produtiva é a mesma, porém com a comunicação entre peças e máquinas as devidas alterações dos processos são realizadas de modo local e autônomo. O desenvolvimento do presente projeto também contribuiu para implantar um método para a análise da aplicação de um dos conceitos fundamentais da “Indústria 4.0”, que é IoT, indicando como um equipamento existente pode ser adaptado nos moldes da “Indústria 4.0” utilizando componentes de custo relativamente baixo. Considera-se que este trabalho contribui para a aplicação em sistemas produtivos já existentes principalmente em países no o nosso onde existe dificuldade para investimento para novas plantas de alta tecnologia.

Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeiro das agências governamentais brasileiras, CAPES, CNPq e FAPESP.

Referências Bibliográficas

- Aelker, J., Bauernhansl, T. and Ehm, H (2013). Managing complexity in supply chains: A discussion of current approaches on the example of the semiconductor industry. *46th Conference on Manufacturing Systems*, pp. 79-84.
- Dombrowski, U., Wagner T., Riechel, C (2013). Concept for a cyber physical assembly system. *IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing*, pp. 293-296.
- Fonseca, M. O (2002). Comunicação OPC – Uma abordagem prática. *VI Seminário de Automação de Processos, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais*.
- Garcia Melo, J.I.; Souit, S.; Santos Filho, D.J.; Junqueira, F.; Miyagi, P.E. Abordagem sistemática para expor um sistema de manufatura como serviço. *CBA XVIII Congresso Brasileiro de Automação*, pp. 3343-3349, 2010.
- Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. AACATECH, Frankfurt.
- Kramp, T., Kranenburg, R.V. and Lange, S. (2013). Introduction to the Internet of Things. Em: A. Bassi, et al. eds. Enabling Things to Talk: Designing IoT solutions with the IoT Architectural Reference Model. Springer, pp. 1-10.
- Lee, J., Bagheri, B., Kao, H.A (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, v.3, pp. 18–23.
- Lee, J., Kao, H. A., Yang, S (2014). Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. *6th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems*, pp. 3-8.
- Mansour, W., Jelassi, K (2014). RFID technology to control manufacturing systems using OPC server. *IEEE Inter. Conf. on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb*.
- Nagorny, K., Colombo, A. W.; Schimdtmann, U (2012). A service- and multi-agent-oriented manufacturing automation architecture. *Computers in Industry*, pp. 813-82.
- Pisching, M. A., Junqueira, F., Santos Filho, D. J., Miyagi, P. E (2015a). An architecture for organizing and locating services to the industry 4.0. *23rd ABCM Intern. Congr. of Mechanical Engineering*.
- Pisching, M. A., Junqueira, F., Santos Filho, D. J., Miyagi, P. E (2015b). Service composition in the cloud based manufacturing focused on the industry 4.0. *6th IFIP Advances in Information and Communication Technology*, v.450, pp. 65-72.
- Rajkumar, R., Lee, I.; Sha, L.; Stankovic, J (2010). Cyber-physical systems: The next computing revolution. *47th ACM/IEEE Design Automation Conference*, pp. 731-736.
- Riedl, M., Zipper, H., Meier, M., Diedrich, C (2014). Cyber-physical systems alter automation architectures. *Annual Reviews in Control*, v.38, pp. 123-133.
- Shi, J., Wan, J., Suo, H. Y (2011). A survey of cyber-physical systems. *Intern. Conf. on Wireless Communications and Signal Processing*, pp. 1-6.
- Velandia, D. M. S., Kaur, N., Whittow, W. G., Conway, P. P., West, A. A (2016). Towards industrial internet of things: Crankshaft monitoring, traceability and tracking using RFID, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume, v.41, pp. 66-77.
- Want, R (2006). An introduction to RFID technology. *IEEE Pervasive Computing*, v.5, pp. 25-33.
- Wright, P (2014). Cyber-physical product manufacturing. *Manufacturing Letters*, v.2, pp. 49-53.
- Xu, L.D., He, W., Li, S (2014). Internet of Things in Industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v.10, pp. 2233-2243.
- Zhang, L (2013). An integration approach to specify and model automotive cyber physical systems. *Intern. Conf. on Connected Vehicles and Expo*, pp. 568-573.