

IMPLANTAÇÃO DE UMA ARQUITETURA DE SOFTWARE BASEADA EM TECNOLOGIAS E CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0

JOÃO R. CARDOSO¹, MARCELO GÖTZ², JOÃO C. NETTO³

¹*Eclipse Software*

Rua 24 de Outubro, 353, 90510-002, Porto Alegre, RS, Brasil

²*Depto. de Sistemas Elétricos de Automação e Energia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Osvaldo Aranha, 103, 90035-190, Porto Alegre, RS, Brasil*

³*Depto. de Informática Aplicada, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Bento Gonçalves, 9500, 91501-970, Bloco IV, Porto Alegre, RS, Brasil*

E-mails: cardoso@eclipse.com.br, mgoetz@ufrgs.br, netto@inf.ufrgs.br

Abstract - The concept of Industry 4.0 was recently introduced as a reference of the fourth industrial revolution. The proposal of this work is contributing with the definition of the concept of Industry 4.0 as being the intersection of concepts and technologies. Therefore, a brief theoretical analysis was carried out, together with the development of a platform based on these concepts, capable of integrating equipment, operators, and production demands into a flexible manufacturing system. The objective of this platform is to effectively integrate these concepts and technologies, evaluate the obtained results and identify some challenges to overcome in the implementation of a system based on Industry 4.0.

Keywords - Industry 4.0, Cyber-Physical Systems, Internet of Things, Autonomous Systems, Cloud Computing.

Resumo - O conceito de Indústria 4.0 foi recentemente criado e refere-se à quarta revolução industrial. A proposta deste trabalho é contribuir na definição do conceito de Indústria 4.0 como sendo a intersecção de conceitos e tecnologias. Para tanto, é realizada uma breve análise teórica, e em seguida descreve-se o desenvolvimento de uma plataforma baseada nestes mesmos conceitos, capaz de integrar equipamentos, operadores, e demandas de produção em um sistema flexível de manufatura. O objetivo desta plataforma é o de efetivar integração destes conceitos e tecnologias, avaliar os resultados obtidos e identificar alguns dos desafios a serem superados na implementação de um sistema baseado na Indústria 4.0.

Palavras-chave— Indústria 4.0, Sistemas Ciber-Físicos, Internet das Coisas, Sistemas Autônomos, Computação em Nuvem.

1 Introdução

A humanidade presenciou recentemente a transição entre a época em que a computação, de forma geral, era executada quase que exclusivamente por máquinas do tipo *desktop*, para a época em que a grande maioria dos computadores existentes no planeta encontra-se disponível em versões que cabem na palma da mão das pessoas. Em projeção a esta constatação é possível inferir que em um futuro próximo haverá microcomputadores integrados com muitas das coisas que fazem parte de nosso cotidiano.

Desse modo, é natural pensar que a indústria necessita de aporte teórico tanto quanto ferramental, e é nesse contexto que se encaixa um dos objetivos da produção acadêmica, que é o de prover conhecimento para gerar benefícios à sociedade através do avanço tecnológico.

Nesse contexto, o objetivo geral deste trabalho é apresentar alguns dos conceitos e tecnologias mais diretamente relacionados ao tema Indústria 4.0, e desenvolver uma plataforma para gerenciamento parcial da produção de um sistema de manufatura flexível

em um ambiente simulado, valendo-se de alguns destes mesmos conceitos, dentre eles: Sistemas Ciber-Físicos (SCF), Internet das Coisas, Sistemas Autônomos e Computação em Nuvem. Complementando o escopo deste trabalho está a tarefa de explorar os desafios e os desdobramentos práticos referentes à modelagem e ao desenvolvimento desta plataforma, avaliar as funcionalidades práticas dos conceitos utilizados e identificar as limitações do sistema desenvolvido.

2 Indústria 4.0

O termo “Indústria 4.0” foi criado por um grupo de trabalho convocado em 2012 pelo Ministério Federal da Educação e Pesquisa da Alemanha para desenvolver recomendações estratégicas visando inovação tecnológica à indústria alemã. O grupo foi liderado pelo Prof. Dr. Henning Kagermann, atual diretor da National Academy of Science and Engineering (acatech) e pelo Dr. Siegfried Dais, da empresa Bosch, e contava ainda com diversos pesquisadores de instituições alemãs, como o Instituto Fraunhofer, a Universidade Técnica de Munique e diversos mem-

bros da indústria como BMW, ThyssenKrupp e Festo. O resultado do grupo de trabalho foi um documento intitulado "Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0". De acordo com (Dais, 2014), Indústria 4.0 é atualmente um dos tópicos mais comentados entre acadêmicos da Alemanha.

Poderosos microcontroladores autônomos, utilizados em sistemas embarcados, vem sendo crescentemente conectados entre si através da internet. Este é o resultado da convergência entre o mundo físico e o mundo virtual na forma de SCF. No território de sistemas de manufatura, essa evolução tecnológica pode ser descrita como o quarto estágio da industrialização, ou Indústria 4.0.

De acordo com (Hermann et al., 2015), são seis os princípios de projeto na Indústria 4.0, os quais representam os atributos que se deseja adquirir ao adotar tal filosofia. Esses princípios orientam as empresas a identificar e implementar os cenários previstos na Indústria 4.0. São eles:

- Interoperabilidade: a habilidade de equipamentos, humanos e dos sistemas de gestão de se comunicarem e executar tarefas de forma coordenada.
- Virtualização: um modelo virtual das Fábricas Inteligentes é criado para fins de monitoramento, controle e simulação.
- Descentralização: a habilidade dos SCF de tomarem decisões sem intervenção humana.
- Capacidade em tempo real: a capacidade de coletar e analisar dados e entregar conhecimento derivado dessas análises durante a operação.
- Orientação a Serviço: oferecimento dos serviços (dos SCF e de humanos) através da Computação em Nuvem.
- Modularidade: adaptação flexível das Fábricas Inteligentes para requisitos mutáveis através da reposição ou expansão de módulos individuais.

Nas fábricas inteligentes - as quais se deseja alcançar com a implantação dos conceitos da Indústria 4.0 - SCF monitoram processos físicos e realizam decisões descentralizadas. Via Internet das Coisas, SCF comunicam-se e cooperam uns com os outros e com seres humanos em tempo real. Através de sua arquitetura orientada a serviços, processos organizacionais e processos de produção são oferecidos e utilizados por participantes da cadeia de valor através da Computação em Nuvem.

As fábricas inteligentes constituem uma abordagem completamente nova para sistemas de produção, onde produtos são universalmente identificáveis, e estes sistemas podem ser acessados a qualquer momento, assim como seu próprio histórico de processos, seu estado atual e as rotas alternativas para atingir o estado desejado. Nesse tipo de ambiente de ma-

nufatura, sistemas embarcados são conectados verticalmente com os processos de produção dentro das fábricas e das empresas, e podem ser gerenciados em tempo real, desde a realização do pedido à saída do produto na área de logística (Kagermann et al., 2013).

Do ponto de vista teórico, é possível entender o conceito de Indústria 4.0 como a intersecção de alguns conceitos, os quais vêm sendo praticados cada vez mais por organizações ao redor do mundo. A Figura 1 mostra um Diagrama de Venn representando alguns dos conceitos que estão intimamente relacionados com o paradigma da Indústria 4.0.

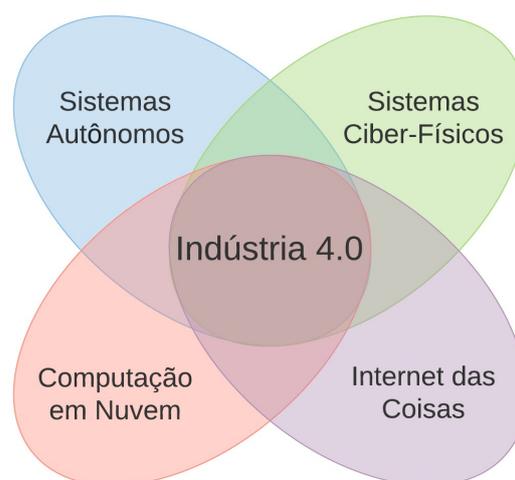


Figura 1. Indústria 4.0 como uma intersecção de conceitos

A análise realizada por (IVACE, 2016), vai além do ponto de vista técnico, e afirma que uma das chaves para estes novos modelos de negócios baseados no conceito de Indústria 4.0 é a inclusão do cliente como parte da cadeia de valor. Dessa forma é estabelecido um ciclo em que a informação de utilização dos produtos realimenta a cadeia produtiva, possibilitando que ambos os grupos - consumidores e produtores - se beneficiem. O consumidor irá melhorar a experiência de usuário, tendo acesso a produtos de baixo custo com maior valor agregado, e o produtor terá informações confiáveis para melhorar o projeto dos produtos existentes, e criar novas soluções para atingir novos mercados. Contudo, antes de implementar qualquer tipo de mudança, especialmente aquelas que envolvem investimentos significativos, é necessário realizar uma análise rigorosa em relação aos benefícios que se deseja obter e às soluções que melhor atendem o cenário previsto.

É de extrema importância ter cautela, pois, como menciona (DAVIES, 2015), nem todos os observadores estão convencidos do valor que a Indústria 4.0 acrescentará aos meios de produção. Alguns acham que a Indústria 4.0 como um conceito é mal definido e sofre de expectativas exageradas. Outros, porém, acreditam que os produtos totalmente digitalizados e as cadeias de valor ainda são um "sonho".

2.1 Sistemas Ciber-Físicos

De acordo com (Kagermann et al., 2013), no futuro empresas irão estabelecer redes globais incorporando seu maquinário, almoxarifado e instalação de produção na forma de SCF. O conceito de SCF foi definido pela primeira vez em 2006 pelo Dr. James Truchard, CEO da empresa National Instruments, baseado na representação virtual de um processo de manufatura. No ambiente de produção, esses SCF compreendem máquinas, estoques e sistemas de produção capazes de trocar informação entre si de forma autônoma, possibilitando que a produção seja controlada de forma independente. Os sistemas centralizados rígidos de controle das fábricas cedem agora seu lugar para inteligência descentralizada, com a comunicação M2M (*Machine to Machine*) no chão de fábrica (Braga, 2014).

2.2 Sistemas Autônomos

O conceito de Sistemas Autônomos possibilita a criação de arranjos auto-organizáveis, em que equipamentos interagem e formam coalizões para gerar os fluxos produtivos, determinam suas restrições, realizam seu próprio monitoramento e tomam decisões de forma autônoma em meio ao processo produtivo.

Sistemas auto-organizados não se limitam a atender fluxos de produção estáticos da forma mais eficiente, mas sim atendem a necessidade do produto e organizam o sistema produtivo em sua forma ótima, sem ter a preocupação de que se trate de um elemento já produzido anteriormente. Em síntese, a auto-organização atende a diversidade de produção com a pretensão de atender, no limite, à necessidade de produtos com lote único.

Os agentes constituintes de um sistema como este adotam esse comportamento a fim de buscar, em conjunto, a melhor solução para atender a demanda de produção. Isto ocorre de forma dinâmica, a cada produto a ser processado, a cada etapa da produção, tornando as decisões e arranjos produtivos mais assertivos. Esta abordagem visa atender a uma necessidade de rápidas respostas a novas demandas de mercado, onde sistemas com hierarquia normalmente não são capazes de atender (Onori et al., 2011). Baseado nestas observações, pode-se visualizar uma abstração da negociação de serviços em um Sistema Autônomo (Figura 2).

É interessante notar que esse tipo de sistema configura-se como uma abordagem alternativa em relação às estruturas hierarquizadas comumente encontradas na indústria, compostas por sistemas do tipo ERP (*Enterprise Resource Planning*), MRP (*Manufacturing Resource Planning*) e MES (*Manufacturing Execution System*), que por vezes não interagem de forma prática. Estas alternativas buscam, entre outras coisas, preencher essa lacuna de conectividade entre as diversas plataformas de gerenciamento implantadas atualmente na indústria.



Figura 2. Negociação de serviços em um Sistema Autônomo

2.3 Computação em Nuvem

As recentes mudanças na dinâmica da utilização de computadores implicam na geração de uma enorme quantidade de dados que devem ser armazenados, processados e apresentados para usuários. É neste ponto que se origina um dos grandes desafios: executar todas essas tarefas de forma eficiente e apresentar os resultados de forma concisa e de fácil compreensão.

Observando as últimas estratégias e o destino dos investimentos das grandes empresas do ramo da computação, a infraestrutura computacional que dará suporte a essas mudanças será fornecida por servidores remotos – Computação em Nuvem. Segundo uma pesquisa realizada pelo Professor Otávio Próspero Sanchez da Fundação Getúlio Vargas, a adoção da computação em nuvem é vista como uma oportunidade para a redução dos investimentos em tecnologia da informação (Sanchez, 2012). Através da infraestrutura em nuvem será possível conectar dispositivos de monitoramento, dispositivos de armazenamento, sistemas de produção, ferramentas analíticas, e plataformas de comando e visualização. Esse modelo consistirá em uma variada gama de serviços disponibilizados pelos agentes virtuais do sistema, de forma similar à que ocorre com o mercado de serviços tradicional, em que cada serviço possui atributos como custo e prazo de entrega (Gubbi, 2013). Estes serviços serão negociados através de comunicação M2M e possibilitarão que usuários acessem aplicações sob demanda remotamente.

2.4 Internet das Coisas

O conceito de Internet das Coisas emergiu dos avanços de várias áreas como a de sistemas embarcados, microeletrônica, comunicação e tecnologia da

informação (Santos et al., 2015). Esse conceito é considerado como a terceira onda da tecnologia da informação, após a Internet e a rede de comunicação móvel (Zhu et al., 2010).

A expressão Internet das Coisas foi cunhada em 1999 por Kevin Ashton, um britânico que fora um dos fundadores do Auto-ID Center no MIT, laboratório este que desenvolveu projetos de pesquisa pioneiros na área de semântica e identificação para objetos em rede, em especial com tecnologias de identificação por rádio frequência - RFID na sigla em inglês.

De acordo com um estudo realizado pela Gartner (Gartner, 2013), empresa especializada em pesquisas na área de tecnologia da informação, a Internet das Coisas figura como uma das dez maiores tendências em estratégias tecnológicas. O Cisco Internet Business Solutions Group projeta que até 2020 haverá cerca de 50 bilhões de dispositivos conectados à internet (Evans, 2011).

Dentre os trabalhos mais citados quando se aborda a definição de Internet das Coisas encontra-se (Atzori et al., 2010), que apresenta uma definição originária do cruzamento de três paradigmas: orientação para internet; orientação para coisas; e orientação semântica. Assume-se que este tipo de definição surge como necessária devido à natureza interdisciplinar do assunto, todavia a utilidade da Internet das Coisas pode ser desencadeada apenas em um domínio onde os três paradigmas se cruzam (Gubbi et al., 2013).

Na definição de (Gubbi et al., 2013), Internet das Coisas assume-se como algo mais centrado no utilizador e não restrito a protocolos de comunicação. Dessa forma, para (Gubbi et al., 2013), Internet das Coisas é “A interconexão de dispositivos possuidores de sensores e atuadores com a habilidade de compartilhar informação de diferentes plataformas através de uma rede unificada, desenvolvendo uma visão operacional comum e assim possibilitar aplicações inovadoras. Isso é atingido pela integração de computação ubíqua, sistemas analíticos e representação de informação, utilizando a computação em nuvem como elo.”

2.5 Tecnologias

Conforme (Hermann et al., 2015), Indústria 4.0 não é apenas um termo coletivo para um grupo de conceitos, mas também para um conjunto de tecnologias aplicadas para organizações de cadeia de valor.

O que se observa, entretanto, é que existe, por vezes, o uso intercambiável das palavras tecnologia e conceito. Internet das Coisas, por exemplo, pode ser encontrada como sendo uma tecnologia base, mas também como um conceito. A mistura de conceito e tecnologia torna nebulosa a definição de Indústria 4.0. Entretanto, a utilização de tais tecnologias/conceitos, alguns já mencionados nas seções anteriores, configuram um ambiente de Indústria 4.0.

3 Desenvolvimento da plataforma

Como já mencionado, um dos objetivos deste trabalho é apresentar a arquitetura e uma implementação de uma ferramenta para sistema de produção do tipo manufatura, utilizando alguns dos conceitos e tecnologias englobadas no paradigma da Indústria 4.0, com o intuito de propor uma nova abordagem para a gestão da produção em ambientes industriais.

A ferramenta é composta por um pacote de *softwares* que provê ao sistema de manufatura um ambiente em que equipamentos e operadores possam se comunicar, cooperar e se auto-organizar a fim de executar as tarefas de produção de forma autônoma.

3.1 Justificativa

Na sessão anterior foram abordados conceitos e tecnologias que normalmente são citados na visão de Indústria 4.0, entretanto, sobrepondo-se a qualquer item específico dessa lista, reside uma das características intrínsecas da Indústria 4.0 que é a de ser intimamente ligada à prática de inovação nos meios de produção e nos modelos de negócio atuais.

Posto que o conceito de Indústria 4.0 é relativamente novo, e que sua prática se apresenta ainda um tanto quanto comedida em grande parte das organizações industriais, detectou-se a necessidade de novas propostas para ferramentas que utilizem tal conceito. Um caso particular é o de algoritmos que gerenciem a produção com certo grau de automação, sendo este o caso explorado neste trabalho.

Cabe salientar, entretanto, que a ferramenta aqui desenvolvida tem o intuito apenas de verificação da viabilidade de aplicação dos conceitos e tecnologias até então apresentados para a Indústria 4.0. Como resultado deste experimento, pretende-se avaliar e prospectar caminhos para onde a indústria atual pode se posicionar e onde investir em pesquisa e inovação para sua adaptação a este novo marco industrial.

3.2 Arquitetura

A plataforma proposta neste trabalho é composta por um conjunto de componentes de *software* independentes que juntos formam um ambiente para executar e gerenciar demandas de produção e outras tarefas operacionais em um sistema de manufatura simulado.

A integração dos componentes mencionados no parágrafo anterior é realizada através de uma arquitetura própria, que foi projetada para atender os objetivos específicos deste trabalho. Os componentes que formam o sistema são descritos a seguir:

- Serviço de computação em nuvem (Cloud): incumbido de receber, armazenar e disponibilizar os dados da operação;

- Agente de Comunicação (Communication Agent): responsável por fornecer a infraestrutura de comunicação através do protocolo MQTT para os demais agentes do sistema;
- Agente de Vendas (Sales Agent): responsável por gerar e monitorar as demandas de produção;
- Agente Supervisório (Supervisory Agent): responsável por gerenciar a operação dos equipamentos e dos operadores no ambiente do chão de fábrica;
- Arranjo de agentes de produção (Production Agents): responsáveis por executar as tarefas de fabricação de forma auto organizada.

A Figura 3¹ mostra um diagrama da arquitetura projetada para a plataforma.

Esta arquitetura pretende atender sistemas de produção de fluxo não contínuo, em que produtos são manufaturados a partir de uma série de tarefas independentes que podem ser executadas em diferentes postos de trabalho como, por exemplo, em fábricas com *layout* do tipo *flowshop*.

3.3 Implementação dos componentes

O serviço de computação em nuvem foi desenvolvido no ambiente de programação NodeJS utilizando a biblioteca Express que implementa um servidor para páginas *Web*. Além disso este serviço utiliza o *software* MongoDB para armazenar os dados. Os demais componentes descritos acima foram desenvolvidos em linguagem de programação *web*, mais precisamente HTML e JavaScript.

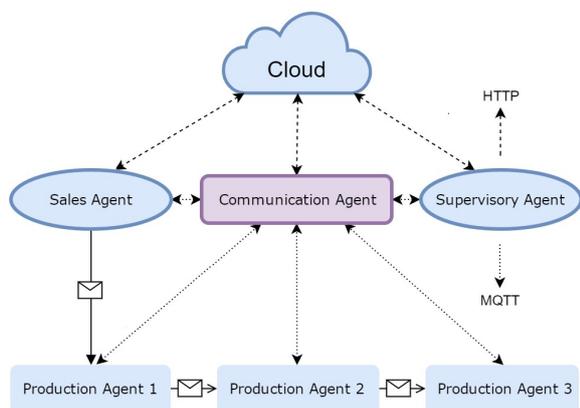


Figura 3. Representação da arquitetura projetada.

Através do protocolo HTTP o Agente de Comunicação, o Agente de Vendas, e o Agente Supervisório podem interagir com o sistema de computação em nuvem (cuja conexão é simbolizada pela linha tracejada na Figura 3), publicando novos dados ou buscando os anteriormente armazenados.

Uma vez que um agente se conecta ao Agente de Comunicação, ele adquire a capacidade de enviar mensagens para os demais agentes do sistema. É importante destacar que o Agente de Comunicação não comanda a operação, apenas fornece o suporte para comunicação. Portanto, são os agentes de produção que criam os fluxos de produção de forma autônoma, gerando, assim, uma rede auto-organizada.

Os agentes de produção possibilitam a interação do sistema tratado neste trabalho com os equipamentos e os operadores de um sistema de manufatura. Com sua capacidade de comunicação, estes agentes trocam mensagens entre si, formando coalizões e, assim, executam as ordens de produção inseridas no sistema de forma autônoma.

Os agentes de produção são os componentes que de fato executam os serviços de fabricação, ou seja, representam os equipamentos e os operadores de um ambiente de produção. Estes agentes trocam mensagens entre si, formando coalizões e, assim, executam as ordens de produção inseridas no sistema de forma autônoma.

A lógica dos agentes de produção foi implementada de três formas distintas: em páginas web, para que operadores possam interagir com o sistema; em um sistema embarcado modelo Arduino UNO (Arduino, 2018); e no software supervisorio Eclipse E3 (Eclipse, 2018), que por sua vez comanda um CLP modelo Dexter µDx100 (Dexter, 2018). Sendo estes dois últimos munidos de inteligência artificial, dispensando a necessidade de operadores.

O Agente Supervisório possui três funcionalidades: visualização da lista de agentes de produção conectados ao sistema – agentes *online* – assim como dos estados de seus serviços e sensores; consulta e *plot* do histórico dos valores dos sensores; consulta e *plot* de uma análise de produtividade básica dos serviços.

Na interface do Agente Supervisório é possível monitor a lista de agentes de produção conectados ao sistema. A Figura 4 mostra a interface do Agente Supervisório.

Nesta interface também é possível acessar o histórico dos dados reportados por estes agentes, como mudanças de estado de serviços e valores de sensores, assim como visualizar uma análise de produtividade para cada serviço de cada agente de produção.

O Agente de Vendas foi desenvolvido com o objetivo de criar e gerenciar as demandas de produção, e possui três funcionalidades: consulta ao portfólio de produtos e inserção de novas estruturas de produto; consulta ao histórico das ordens de produção; e adição de ordens de produção no sistema.

¹ Esta figura e as demais, relacionadas à plataforma, estão na língua inglesa, a mesma utilizada no seu desenvolvimento.

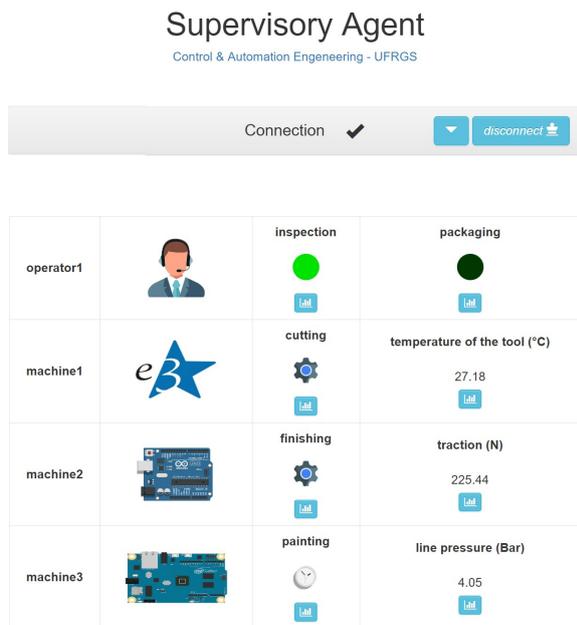


Figura 4. Interface do Agente Supervisor.

Na interface do Agente de Vendas é possível acessar o portfólio de produtos, criar novas estruturas de produto, realizar pedidos de produção, e acessar o histórico de fabricação de cada produto em cada ordem de produção efetuada. A Figura 5 mostra uma imagem da interface do Agente de Vendas.

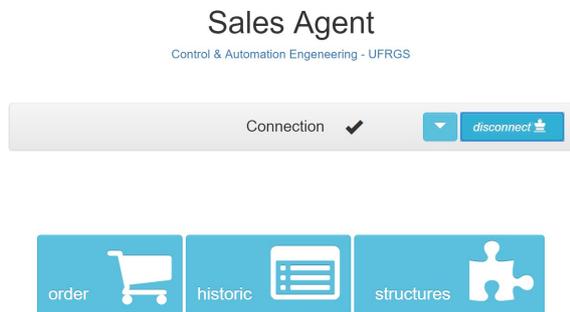


Figura 5. Interface do Agente de Vendas.

Ao clicar no botão “historic” do Agente de Vendas abre-se a janela de histórico de ordens de produção, em que é possível visualizar detalhes da operação. A Figura 6 mostra uma imagem da janela de histórico de ordens de produção do Agente de Vendas.

O fluxo de uma ordem de produção inicia-se no Agente de Vendas, que a envia para o agente de produção mais adequado. Este agente, ao finalizar sua tarefa, repassa a ordem para o próximo agente de produção, e assim sucessivamente, até que todas as tarefas de fabricação daquela ordem sejam finalizadas.

De forma a resumir a apresentação da plataforma, foram omitidas algumas funcionalidades do sistema e suas respectivas interfaces de controle, entretanto, é possível acessar o material completo em (Cardoso, 2017).

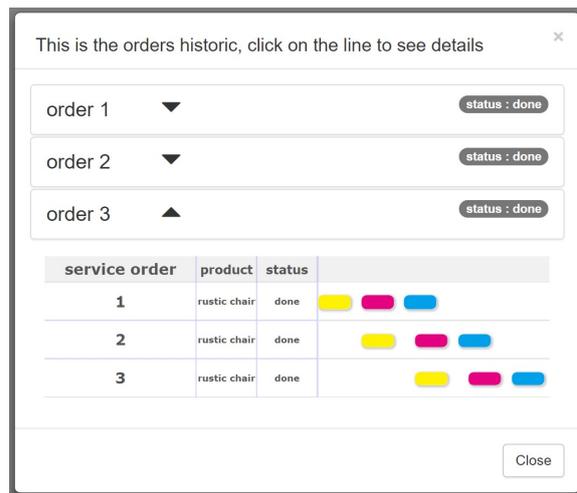


Figura 6. Janela de histórico de ordens de produção.

4 Resultados

Uma vez apresentadas todas as suas interfaces, passa-se a discorrer sobre os atributos de desempenho obtidos com a plataforma desenvolvida neste trabalho.

O código contendo o algoritmo do serviço de computação em nuvem foi executado em um servidor da empresa Microsoft, que oferece serviços de computação em nuvem com servidores localizados nos Estados Unidos. O algoritmo projetado se mostrou bastante adequado à aplicação, tanto no armazenamento dos dados de operação, quanto no processamento das requisições dos agentes, executando ambas as tarefas com bastante agilidade. Os serviços oferecidos pelo Agente de Comunicação também se mostraram bastante adequados ao projeto, e não foi constatada nenhuma limitação de caráter crítico em relação às funcionalidades propostas.

A fim de avaliar o funcionamento da lógica de auto-organização dos agentes, determinar limites de capacidade populacional, e, por fim, validar alguns conceitos, realizou-se um experimento com a plataforma desenvolvida neste trabalho. No experimento, duzentos agentes de produção foram conectados simultaneamente ao sistema, sendo que: um deles foi executado em um Arduino UNO; quatro outros agentes foram executados individualmente em diferentes computadores utilizando a aplicação do Eclipse E3 junto aos PLC Dexter modelo $\mu D \times 100$; e o restante dos agentes de produção foi executado em serviços Web contendo a implementação do agente de produção orientado a operadores. Para este experimento foi desenvolvida uma versão automática do agente de produção orientado a operadores, ou seja, uma versão que não exige confirmação de início e fim da operação de um serviço – que passa a iniciar automaticamente assim que chegam as ordens, permanecendo no estado “working” durante um intervalo fixo de cinco segundos. As páginas Web contendo os agentes de produção foram abertas em cinco computadores dife-

rentes e todos os agentes presentes no ensaio foram conectados a uma rede *wireless* local. Vale ressaltar que a escolha por uma rede local é comum, visto que sistemas dessa natureza não podem depender inteiramente da internet para o andamento de sua rotina.

Durante o ensaio foram realizados diversos pedidos, sendo que um deles continha 500 produtos, que foram fabricados (virtualmente) durante um período de aproximadamente oito minutos. A Figura 7 mostra uma imagem de alguns dos equipamentos utilizados no ensaio de validação da plataforma.

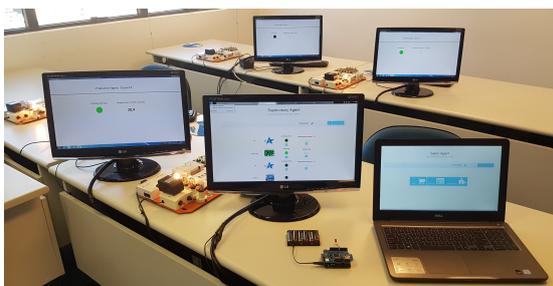


Figura 7. Equipamentos utilizados no ensaio de capacidade.

O ensaio foi realizado na cidade de Porto Alegre, no centro de treinamento da empresa Elipse Software, que gentilmente cedeu um de seus laboratórios. O ensaio foi executado com aparente sucesso, e com ele foi possível concluir, em primeiro lugar, que o Agente de Comunicação suporta um número razoavelmente grande de conexões simultâneas sem mostrar nenhuma anomalia. Também foi possível concluir que o arranjo de agentes de produção foi capaz de se auto organizar, e assim instituir os fluxos de produção de forma eficiente e autônoma: Eficiente, pois durante a simulação os agentes de produção não apresentaram intervalos significantes de tempo ocioso - porém foi possível observar lacunas entre as tarefas de fabricação de uma mesma ordem devido aos atrasos de transporte das mensagens; Autônoma, pois em nenhum momento foi necessário indicar qual agente deveria trabalhar em qual produto, ou nenhuma outra informação que predefinissem uma rota por onde o produto deveria seguir a fim de ser fabricado, mesmo se tratando de ordens de produção com um número elevado de produtos.

Observando suas características, é possível constatar que a plataforma desenvolvida neste trabalho: apresentou interoperabilidade ao conectar diferentes tipos de dispositivos; implementou uma estrutura de virtualização para abstração de entidades; mostrou ser de natureza descentralizada ao deixar no encargo dos agentes a criação dos fluxos de produção; apresentou capacidade em tempo real para a visualização da lista de agentes conectados, assim como outras informações disponibilizadas ao longo da produção; possui arquitetura orientada a serviços; e, por fim, mostrou modularidade ao permitir a rotatividade de agentes para formar coalisões, mesmo com entradas e saídas de agentes de produção durante o ciclo de produção.

De acordo com os resultados obtidos, este trabalho teve êxito ao aplicar os conceitos gerais da perspectiva de Indústria 4.0 em um sistema de manufatura simulado. A partir da aplicação destes conceitos, o sistema adquiriu certos atributos que, conforme discutido na Seção 2, são considerados altamente promissores para organizações que queiram atingir melhores resultados em eficiência, agilidade e flexibilidade em seus sistemas de produção. Ao adquirir estes atributos, empresas passam a usufruir de vantagens competitivas importantes na atual conjuntura de consumo de produtos, e ganham a possibilidade de explorar novos modelos de negócios, sendo alguns deles bastante disruptivos em relação aos atualmente adotados na indústria.

Contudo, vale destacar que há muito a se explorar em várias questões relacionadas à plataforma de gerenciamento proposta neste trabalho, sendo que um dos pontos mais importantes é o desenvolvimento de algoritmos para otimização dos fluxos de produção, visando: diminuir o tempo de fabricação dos produtos; diminuir o intervalo entre a fabricação de produtos em uma mesma ordem, e assim diminuir o risco de estoques intermediários; e, por fim, diminuir o tempo ocioso dos equipamentos e dos operadores durante o turno de trabalho. Essas melhorias podem ser parametrizadas por indicadores como o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), o qual é largamente utilizado na indústria para medir a eficiência local de um dado recurso. Contudo, O indicador OEE é apenas uma das ferramentas encontradas no TPM (*Total Productive Maintenance*), que se caracteriza por uma metodologia de gestão industrial, a qual poderia ser aplicada na plataforma desenvolvida neste trabalho para aumentar a eficiência da produção.

Outra limitação que vale ser destacada na plataforma desenvolvida é a ausência de aspectos importantes de um sistema de manufatura real, como o controle de insumos para as máquinas e operadores, o controle de estoque de produtos finalizados, e a integração com o setor de engenharia da empresa, que são fundamentais para o gerenciamento efetivo de um sistema dessa natureza. Sistemas de controle como os mencionados são utilizados pela totalidade das organizações industriais atuais, que são de altíssima importância para o correto funcionamento de suas operações, e que por vezes possuem estruturas virtuais gigantescas. Dito isso, configura-se como um grande desafio a tarefa de integrar a plataforma desenvolvida neste trabalho com sistemas do tipo ERP, MRP e MES atualmente instalados nas empresas.

5 Conclusão

As mudanças na dinâmica de consumo impõem aos meios de produção constantes melhorias de modo que estes continuem atendendo os desejos dos consumidores de forma competitiva. O número de novas tecnologias sendo desenvolvidas, projetadas para as mais diversas aplicações, tem sido muito grande, e

embora seja relativamente delicado aplicá-las em certos ambientes conservadores, não há dúvidas de que várias destas podem trazer benefícios reais às cadeias de produção das organizações.

A plataforma descrita no presente trabalho é uma proposta de arquitetura que aplica conceitos intimamente ligadas ao paradigma da Indústria 4.0, o qual é bastante recente e ainda carece de certa maturação científica para que seja estabelecido de forma clara e objetiva, inclusive em relação às suas fronteiras.

As maiores dificuldades encontradas ao implantar a plataforma utilizada nos experimentos descritos neste trabalho, foram relacionadas à modelagem da arquitetura do sistema. Porém, tal plataforma foi capaz de integrar, de forma simples e transparente, diferentes equipamentos, operadores e demandas de produção, em um ambiente de manufatura flexível simulado.

De acordo com testes realizados, a rede implementada mostrou ser robusta o bastante para suportar uma quantidade razoavelmente grande de agentes conectados simultaneamente.

Apesar de fornecer informações importantes sobre o andamento da produção, são necessárias mais informações, assim como ferramentas de análise para controlar efetivamente um sistema de manufatura real. O presente trabalho mostra um exemplo de aplicação dos conceitos de Indústria 4.0, e aponta algumas funcionalidades que podem ser obtidas utilizando-se tais conceitos, além de identificar novos desafios que ainda tem de ser superados até a implantação completa da nova geração de sistemas produtivos

Agradecimentos

À Elipse Software, empresa autenticamente brasileira que vem investindo esforços no desenvolvimento de ferramentas que provêm a seus clientes os benefícios previstos na visão de Indústria 4.0, e que gentilmente cedeu um de seus laboratórios para a realização dos experimentos descritos neste trabalho.

Referências Bibliográficas

Arduino (2018). Projeto Arduino. Disponível em: <https://www.arduino.cc/>. Acessado em Jan. de 2018.

Atzori, L.; Iera, A.; Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. Computer networks, Elsevier.

Bauer, E.; Wiley, J. (2010). Design for Reliability: Information and Computer-Based Systems.

Bassi, A.; Bauer, M.; Fiedler, M.; Thorsten, K. (2013). Van Kranenburg, R.; Lange, S.; Meissner, S.; Enabling Things to Talk.

Braga, N. (2014). Indústria 4.0 – O que é isso? Disponível em: <http://www.newtonbraga.com.br/index.php/electronica/52-artigos-diversos/7571-industria-4-0-o-que-e-isso-art1350>. Acessado em Abril de 2017.

Cardoso, J. (2017). Novas Tecnologias Aplicadas a Sistemas de Produção. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/165315>. Acessado em Julho de 2017.

Dais, S (2014). Industrie 4.0 – Anstoß, Vision, Vorgehen. In: Thomas Bauernhansl, Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung, und Logistik: Anwendung Technologien. Springer.

Davies, R (2015). Industry 4.0 Digitalisation for productivity and growth.

Dexter (2018). Dexter Controladores Programáveis. Disponível em: <http://www.dexter.ind.br/>. Acessado em Janeiro de 2018.

Elipse (2018). Elipse Software. Disponível em: <https://www.elipse.com.br/>. Acessado em Janeiro de 2018.

Evans, D (2011). The Internet of Things: How the Next Evolution of the Internet is Changing Everything.

Gartner; Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technology Trends for 2013 (2013). Disponível em: <http://www.gartner.com/newsroom/id/2209615>. Acessado em Maio de 2017.

Gubbi, J.; Buyya, R.; Marusic, S.; Palaniswami, M (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. Elsevier.

Hermann, M.; Pentek T.; Otto, B (2015). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review.

IVACE (Institut Valencia de Competitivitat Empresarial). Informe Sobre el Estado del Arte de la Industria 4.0. 2016.

Kagermann, H., Wahlster, W.; Helbig J (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group.

Onori, M.; Semere, D.; Lindenberg, B.; Evolvable systems: an approach to self-X production. 2011.

Sanchez, O (2012). Antecedentes da Adoção da Computação em Nuvem: Efeitos da Infraestrutura, Investimento e Porte. Disponível em: <http://gvpesquisa.fgv.br/publicacoes/gvp/computacao-em-nuvem>. Acessado em Maio de 2017.

Santos, B.; Silva, L.; Celes, C.; Borges, J.; Peres, B.; Vieira, A.; Vieira, L.; Goussevskaia, O.; Loureiro, A (2015). Internet das Coisas: da Teoria à Prática.

Zhu, Q.; Wang, R.; Chen, Q.; Liu, Y.; Qin, W (2010). IoT gateway: Bridging wireless sensor networks into internet of things. In: IEEE. Embedded and Ubiquitous Computing (EUC), IEEE/IFIP 8th International Conference.