

# Indústria 4.0: Formação de Redes de Projeto em Manufatura Distribuída

## Indústria 4.0: Network Formation on a Distributed Manufacturing Project

Luiz Fernando Cardoso dos Santos Durão<sup>1</sup> - Univ. de São Paulo - Escola Politécnica - Dep. de Engenharia de Produção  
Marly Monteiro Carvalho<sup>2</sup> - Univ. de São Paulo - Escola Politécnica - Dep. de Engenharia de Produção  
Eduardo de Senzi Zancul<sup>3</sup> - Univ. de São Paulo - Escola Politécnica - Dep. de Engenharia de Produção

### RESUMO

A integração de tecnologias modernas de Internet e tecnologias de manufatura, o que vem se denominando de *Indústria 4.0*, permite a produção distribuída usando manufatura aditiva em escala global com integração de máquinas e de processos. No entanto, manufatura distribuída impõe muitos desafios quanto a padronização, ao controle de qualidade e a gestão da informação em diferentes locais de fabricação. Este artigo tem como objetivo investigar a formação de redes em projetos de manufatura distribuída, identificando seus atores e tipos de conexões ao longo do projeto. A abordagem metodológica foi de pesquisa-ação longitudinal para um projeto de manufatura distribuída com foco em manufatura flexível, sendo a fábrica central localizada na Alemanha e o sítio de produção localizado no Brasil. O design e engenharia que gerou o modelo de produto foi desenvolvido na Alemanha, enquanto que o sítio de manufatura aditiva, a infraestrutura produtiva e as máquinas são localizadas no Brasil, formando uma rede de desenvolvimento e manufatura distribuída. Os resultados permitiram identificar como é organizada a comunicação e o compartilhamento do conhecimento entre os envolvidos no projeto de manufatura distribuída, e, além disso, compreender que tipo de conhecimento é compartilhado entre os envolvidos.

**Palavras-chave:** *Indústria 4.0*. Manufatura distribuída. Manufatura aditiva. Rede de projetos.

### ABSTRACT

*The integration of modern internet technology and manufacturing technology, which has been denominated Indústria 4.0, allows for distributed manufacturing using additive manufacturing on a global scale with the integration of machines and processes. However, distributed manufacturing poses many challenges for standardization, quality control and management of information in different manufacturing sites. This article aims to investigate the formation of networks in distributed manufacturing projects, identifying the stake-holders and types of connections throughout the project. The methodological approach used was longitudinal action research for a distributed manufacturing project with a focus on flexible manufacturing. The central plant was located in Germany and the supplier located in Brazil, with a partnership between the Polytechnic School of the University of São Paulo and the Technical University of Darmstadt, Germany. The design and engineering that spawned the product model was developed in Germany, while the additive manufacturing site, the structure, and machinery was developed in Brazil, forming a development and distributed manufacturing network. The results showed how organized the communication and knowledge sharing was among those involved in the distributed manufacturing project, as well as an understanding of what kind of knowledge is shared among those involved.*

**Keywords:** *Indústria 4.0*. Distributed Manufacturing. Additive Manufacturing. Project Network.

1. Avenida Professor Luciano Gualberto, 380, Butantã, São Paulo, SP, CEP: 05508-010, luiz.durao@usp.br; 2. marlymc@usp.br; 3. ezancul@usp.br

DURÃO, L. F. C. S.; CARVALHO, M. M.; ZANCUL, E. S. Indústria 4.0: Formação de Redes de Projeto em Manufatura Distribuída. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, Ano 12, nº 3, jul-set/2017, p. 131-152.

DOI: 10.15675/gepros.v12i3.1695

## 1. INTRODUÇÃO

*Indústria 4.0* promove ambientes conectados via rede (PICCARD; ANDERL, 2014; SCHLUND, 2014; SOMMER, 2015), visando aprimorar a cadeia de valor e gerar valor agregado para garantir a competitividade industrial. Baseado em tecnologias de internet, troca de informações e comunicação entre pessoas, e máquinas e recursos são aplicados em um ambiente conectado de objetos físicos e sua representação virtual, resultando em uma Internet das Coisas no ambiente industrial (SCHLUND, 2014). *Indústria 4.0* envolve conceitos e tecnologias para lidar com os desafios da manufatura atual. Os clientes estão localizados em diferentes regiões do mundo e demandando produtos feitos sob medida e soluções para suas necessidades específicas ao mesmo tempo em que desejam tempos cada vez menores para receber seus produtos (PICCARD; ANDERL, 2014).

Nesse contexto, muitos são os desafios enfrentados como a integração dos fluxos digitais ao longo do ciclo de vida do produto, o desenvolvimento de processos de manufatura altamente flexíveis e adaptáveis, além da capacidade de produzir produtos individualizados ao preço de produção em massa (ANDERL, 2015; KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). O aumento na variedade de produtos combinado com a redução no ciclo de vida dos produtos e a distribuição geográfica de produtos, aumenta a demanda por serviços pós-venda. A gestão de peças de reposição distribuída é um desafio para a maioria dos produtores devido a imprevisibilidade da demanda e a diversidade dos itens (KHAJAVI; PARTANEN; HOLMSTRÖM, 2014a). Aumentar a percepção de valor para o cliente é essencial. Nesse caso, uma estratégia que pode ser adotada é a manufatura geograficamente distribuída de peças de reposição, deixando a produção próxima ao consumidor (KHAJAVI; PARTANEN; HOLMSTRÖM, 2014a). Entretanto, a distribuição da produção trás desafios na troca de informações, comunicação e no controle entre as diferentes fábricas.

Muito já tem sido feito para entender o gerenciamento de projetos geograficamente distribuídos particularmente em projetos de tecnologia da informação (TI). Battin, Croker e Kreidler (2001) apontam problemas de comunicação em projetos geograficamente distribuídos e (CHANG; EHRLICH, 2007) utilizam análise de rede social para estudar padrões de comunicações informais em equipes de projeto global. Entretanto, pouco tem sido feito em relação a projetos de manufatura distribuída.

Nesse contexto, este estudo vem preencher uma lacuna de pesquisa, envolvendo conceitos de *Indústria 4.0* e manufatura distribuída, cujo objetivo é investigar a formação de redes e entender a sua configuração, seus atores e conexões, para um projeto de manufatura distribuída com foco em manufatura flexível sendo a fábrica central localizada na Alemanha e o fornecedor localizado no Brasil. A produção distribuída com fabricação no Brasil pode incentivar a produção nacional de peças, bem como a produção em diferentes localidades, distantes de grandes centros industriais, já que as indústrias podem fabricar sem possuir parque industrial próprio. Além disso, os trabalhos atuais realizados no Brasil tem foco maior na manufatura voltada para *Indústria 4.0* e menos no aspecto organizacional (NUNEZ; BORSATO, 2015; SILVA; FO; MIYAGI, 2015). O intuito deste projeto é mapear as redes informais de comunicação e de compartilhamento de conhecimento de equipes de projeto. Para isso, foi utilizado o *software* UCINET de análise de rede social, proposto por (BORGATTI; EVERETT; FREEMAN, 2002).

O artigo está estruturado em cinco seções. A segunda seção revisa as referências bibliográficas mais importantes para o trabalho. A terceira seção descreve a metodologia empregado no trabalho. A quarta seção descreve o estudo de caso realizado. E, finalmente, a quinta seção fornece as principais conclusões e discussões sobre o trabalho.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Indústria 4.0

Todas as revoluções industriais iniciadas com o advento de desenvolvimentos tecnológicos levam a profundas mudanças na sociedade e ganhos massivos de produtividade (ROBSBAWN, 1961). No fim do século 18, a manufatura foi mecanizada pelo vapor. No fim do século 19, a produção foi marcada pela eletricidade e pela divisão do trabalho. Começando na década de 70 até os dias de hoje, a terceira revolução industrial é caracterizada pelo rápido avanço na tecnologia da informação, eletrônica e digitalização, automatizando o processo de produção (SCHLUND, 2014).

*Indústria 4.0* é uma nova abordagem para a cadeia de manufatura que visa integrar sistemas de fabricação e criar um ambiente autocontrolado e inteligente. Um ambiente controlado pode promover informações sobre o ciclo de vida e fechar o *loop* de informações do produto (ANDERL, 2014). Ambientes conectados, promovidos pela *Indústria 4.0*, consideram a produção de produtos mais individualizados sem parar a produção, uma vez que os pedidos dos consumidores são diretamente conectados ao planejamento da produção, via rede (PICCARD; ANDERL, 2014; SCHLUND, 2014). As fábricas estão se tornando rapidamente adaptáveis enquanto ainda se mantém economicamente produtivas. Essa situação permite a descentralização da produção – por meio de tarefas autônomas baseadas em *Cyber Physical Production Systems* (BRETTEL et al., 2014; LEE; BAGHERI; KAO, 2015; MONOSTORI, 2014). Fábricas inteligentes estarão conectadas em uma rede de colaboração interorganizacional, compartilhando informações relevantes para uma base de dados e, assim, criando um ambiente dinâmico (SCHLUND, 2014).

A implementação de fábricas inteligentes é possível considerando a evolução da manufatura e tecnologias de informação, sendo capazes de receber diferentes informações de diferentes fontes e produzir itens que são mais complexos em um tempo reduzido e em localidades diferentes (SOMMER, 2015).

## 2.2. Manufatura distribuída de peças de reposição

Manufatura de peças de reposição e provisão em tempo real são desafios complexos enfrentados por diversas indústrias. A imprevisibilidade da demanda e a distribuição geográfica dos clientes são problemas importantes quando se lida com peças de reposição (KHAJAVI; PARTANEN; HOLMSTRÖM, 2014a).

Uma das decisões que precisam ser tomadas na produção de peças de reprodução é considerando a localização das fábricas. A produção pode ser centralizada, atendendo o mundo inteiro de um único local, ou distribuída, em diversas localizações que são próximas do mercado final. A produção centralizada facilita a implementação de processos e procedimentos padrão, além de garantir a qualidade. Entretanto, essas vantagens estão atreladas com um alto custo de entregas mais demoradas, alto inventário e alto custo logístico (DURÃO et al., 2016).

Manufatura de peças de reposição e provisão em tempo real são desafios complexos enfrentados por diversas indústrias. A imprevisibilidade da demanda e a distribuição geográfica dos clientes são problemas importantes quando se lida com peças de reposição (KHAJAVI; PARTANEN; HOLMSTRÖM, 2014a).

Um dos desafios da manufatura distribuída é garantir padrões de produção e qualidade nos sítios distribuídos. Nesse contexto, a *Indústria 4.0* promove conceitos e tecnologias que facilitam a manufatura distribuída com um baixo custo transacional.

### 2.3. Manufatura aditiva

Uma das tecnologias de manufatura que permite a produção individual de peças complexas é a manufatura aditiva (MA), (GANDHI; MAGAR; ROBERTS, 2014; ROMMEL; FISCHER, 2013). A disseminação da MA está tendo um grande impacto na produção (WITTBRODT et al., 2013). Primeiramente, ela foi usada apenas para prototipagem, mas nos dias de hoje ela vem sendo utilizada para produzir peças finais, incluindo componentes de turbina automática (GIBSON; ROSEN; STUCKER, 2010; MAÇANARES et al., 2015).

Existem diversas tecnologias para MA, diferindo no processo e no tipo de material aplicado. A classificação dos tipos de MA são focados no processo e no material utilizado (BREUNINGER et al., 2013; GEBHARDT, 2011; GIBSON; ROSEN; STUCKER, 2010). Exemplos de tecnologia de MA incluem SLA (Estereolitografia), SLS (Sinterização Seletiva por Laser) e FDM (Modelagem por deposição fundida) (UPCRAFT; FLETCHER, 2003). A tecnologia SLS, por exemplo, emprega um laser para fundir um material em pó em camadas finas. Uma vez que uma camada é depositada, um mecanismo de rolagem deposita outra camada de material em pó para ser fundida e formar a próxima camada. O processo é repetido até que a parte seja inteiramente produzida (UPCRAFT; FLETCHER, 2003).

Já a tecnologia FDM, produz objetos a partir de um filamento extrudado por um bico fino e depositado sobre uma plataforma. O bico opera em temperatura acima do ponto de fusão do material do filamento. Ao passar pelo bico, o material é fundido e ao entrar em contato com a bandeja e o ar ele perde calor e volta para o estado sólido. O bico movimenta-se em planos horizontais, paralelos à plataforma. O material é depositado em finas camadas, que ao serem so-

brepostas, dão forma ao objeto. Dependendo da geometria, pode ser necessário o uso de suportes para sustentar o objeto fabricado. Esses suportes não fazem parte da estrutura do objeto e devem ser retirados após o término da produção. Os suportes podem ser feitos pelo mesmo material da peça principal e serem retirados com o uso de pinças e alicates, ou podem ser feitos de material solúvel, que facilita a remoção do suporte, uma vez que ele se desfaz ao imergir a peça no líquido adequado (UPCRAFT; FLETCHER, 2003).

A principal vantagem da MA é a possibilidade de produção de formas complexas em lotes pequenos (GEBHARDT, 2011). Além disso, dependendo do sistema de produção, pode contribuir para a redução do *time-to-market* e para a economia de materiais (PETROVIC et al., 2011). Isso tem um significado relevante para a *Indústria 4.0* e trás a possibilidade de individualização da produção (GRIMM; CHRIST; ANDERL, 2015). Entretanto, a distribuição e individualização da produção geram problemas de gestão das atividades que são desenvolvidas em locais diferentes.

## 2.4. Gestão de projetos geograficamente distribuídos

O tema de equipes distribuídas no desenvolvimento de *software* não é recente (GORTON; MOTWANI, 1996). A principal área na qual equipes distribuídas são utilizadas é no desenvolvimento global de *software Global Software Development* (GSD), em que o desenvolvimento é particionado entre as filiais ou se efetua *offshore*, com o objetivo de aumentar a produtividade, reduzir o custo, e tornar a distribuição do *software* mais compatível com competências locais (CARMEL; AGARWAL, 2001). A *Indústria 4.0* tem forte influência da TI, como discutido anteriormente, e a literatura de equipes distribuídas de desenvolvimento nesse contexto pode prover o alicerce necessário para a compreensão de projetos de manufatura distribuída.

Similar ao contexto de manufatura de peças de reposição e provisão em tempo real apresentado na seção anterior, no ambiente de projetos TI é comum o *offshore outsourcing*, em que as atividades de suporte e manutenção (GOLES, T.; HAWK, S.; KAISER, 2008) são desempenhadas por empresas terceirizadas cujas equipes remotas estão localizadas em países diferentes, com vantagens como a diminuição de custos e prospecção de recursos humanos provenientes de centros de excelência técnica específica.



Caracteriza-se desenvolvimento distribuído de *software* quando pelo menos um dos *stakeholders* estiver fisicamente distante dos demais, em três escalas: nacional, continental e global (PRIKLADNICKI; AUDY, 2002). Por isso, dependendo da escala da dispersão física, as dificuldades e custos de reuniões presenciais e o horário de trabalho das equipes pode ser fortemente impactado (PRIKLADNICKI; AUDY, 2002), bem como diferenças de idioma, fusos-horários, questões culturais pessoais e organizacionais (KRUGLIANSKAS, I. THAMHAIN, 2000).

Apesar dos benefícios serem relevantes, a produção de um projeto em sítios dispersos geograficamente acarreta uma série de desafios que irão demandar habilidade da organização em operar neste ambiente e mitigar os riscos envolvidos (BORDEN, A., NETT, 2007; CATALDO, M., BASS, M., HERBSLEB, J. D., BASS, 2007; SINHA; SENGUPTA; GHOSAL, 2007). A criação de sítios de produção em localidades diferentes faz com que problemas de gestão de projetos distribuídos fiquem aparentes, como problemas de coordenação das atividades (ESPINOSA et al., 2007) e com a comunicação dos membros da equipe (HERBSLEB; GRINTER, 1999; REDMILES et al., 2007)

Para compreender a configuração de equipes distribuídas, a abordagem de modelagem de redes sociais vem sendo utilizada, como em estudos que visam compreender os padrões de comunicação informal em equipes (CHANG; EHRlich, 2007; ROSSI; CARVALHO; BIANCHINI, 2015; WIRIDU, 2011). A gestão de equipes distribuídas vem sendo um tema muito difundido na pesquisa em gestão de projetos. Entretanto, pouco tem sido feito em relação a manufatura distribuída, deixando várias questões em aberto.

### 3. MÉTODO

Conforme apresentado na seção introdutória, o objetivo deste trabalho é analisar e compreender como é estabelecida a rede informal de comunicação e de compartilhamento do conhecimento em uma equipe de projeto de manufatura distribuída. Para isso, optou-se pela abordagem de pesquisa-ação desenvolvida em um projeto de pesquisa realizado em parceria entre a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP) e a Universidade Técnica de Darmstadt, na Alemanha. A equipe foi composta por 6 alunos da Universidade Técnica de Darmstadt, um pesquisador responsável (coordenador) localizado no Brasil, além de um professor responsável e um co-coordenador também localizados no Brasil.

As diretrizes para a condução dessa pesquisa foram seguidas de acordo com o proposto em (MIGUEL et al., 2010). Os dados foram obtidos por meio da análise das bases de arquivos utilizados no projeto, em arquivos de e-mail e em arquivos depositados na plataforma de compartilhamento de arquivos do projeto (*Dropbox*®), bem como por registros realizados pelo pesquisador responsável.

### 3.1. Coleta de dados

A análise documental dos registros foi realizada considerando os seguintes tópicos: a finalidade do projeto, as pessoas envolvidas, as formas de comunicação, além dos principais temas envolvidos na comunicação. Foi possível primeiramente construir a Tabela 1, que lista os diferentes atores do projeto, suas especialidades, sua localização e o código atribuído ao ator na análise de rede. Na sequência foram listados, na Tabela 2, os principais temas no desenvolvimento do projeto com base nos principais conteúdos desenvolvidos no projeto. Finalmente, a Tabela 3 apresenta as principais atividades e o grau de participação dos atores, que foi medido por meio da contagem do número de grandes alterações realizadas pelos atores nos arquivos do projeto.

Tabela 1 – Caracterização dos atores do projeto.

| SIGLA | ATOR             | ESPECIALIDADE/PAPEL | PAÍS     |
|-------|------------------|---------------------|----------|
| A1    | Aluno            | Eng. Mecânica       | Alemanha |
| A2    | Aluno            | Eng. Mecânica       | Alemanha |
| A3    | Aluno            | Eng. Mecânica       | Alemanha |
| A4    | Aluno            | Eng. Produção       | Alemanha |
| A5    | Aluno            | Eng. Produção       | Alemanha |
| A6    | Aluno            | Eng. Produção       | Alemanha |
| C1    | Coordenador      | Eng. Produção       | Brasil   |
| CC1   | Co - Coordenador | Eng. Produção       | Brasil   |
| P1    | Professor        | Eng. Produção       | Brasil   |

Fonte: Os autores.



Tabela 2 – Temas envolvidos no projeto.

| TEMAS                                     |
|---|
| <i>Octoprint</i>                          |
| <i>Product Lifecycle Management (PLM)</i> |
| Controle de Qualidade (CQ)                |
| Definição de Requisitos                   |
| <i>Indústria 4.0</i>                      |
| Fluxograma                                |
| Peças de reposição (PR)                   |
| Manufatura Aditiva (MA)                   |
| Parâmetros de Manufatura (PM)             |
| Propriedade Intelectual (PI)              |

Fonte: Os autores.

Tabela 3 – Relacionamento entre atores e atividades.

| MEMBROS | APRESENTAÇÃO | EXECUÇÃO | RELATÓRIO | VÍDEOS |
|---------|--------------|----------|-----------|--------|
| A1      | 0            | 2        | 9         | 1      |
| A5      | 0            | 6        | 17        | 0      |
| A2      | 4            | 0        | 8         | 0      |
| A6      | 0            | 0        | 3         | 0      |
| A3      | 1            | 0        | 1         | 0      |
| A4      | 2            | 0        | 1         | 0      |
| C1      | 3            | 30       | 15        | 0      |

Fonte: Os autores.

Nota: Os números representam as alterações realizadas pelo ator na plataforma do projeto

Na análise documental, foram analisados todos os e-mail trocados pela equipe. A partir desses dados de comunicação entre os membros do projeto, analisou-se a intensidade de comunicação entre os atores (número de *e-mails* enviados e recebidos), conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Relação de comunicação entre os membros de projeto.

| Enviou/recebeu | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | C1 | CC1 | P1 |
|----------------|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|
| A1             | -  | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 27 | 23  | 23 |
| A2             | 5  | -  | 5  | 5  | 5  | 5  | 9  | 5   | 5  |
| A3             | 4  | 4  | -  | 4  | 4  | 4  | 8  | 4   | 4  |
| A4             | 1  | 1  | 1  | -  | 1  | 1  | 2  | 1   | 1  |
| A5             | 7  | 7  | 7  | 7  | -  | 7  | 7  | 7   | 7  |
| A6             | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | -  | 0  | 0   | 0  |
| C1             | 48 | 48 | 48 | 46 | 46 | 46 | -  | 46  | 54 |
| CC1            | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 4  | -   | 3  |
| P1             | 13 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 18 | 12  | -  |

Fonte: Os autores.

Nota: Na horizontal estão descritos a quantidade de *e-mails* enviados e na vertical estão descritos as quantidades de *e-mails* recebidos.

### 3.2. Análise dos dados

No ambiente de equipes de inovação há vários estudos com base em análise de redes sociais (BATALLAS; YASSINE, 2006; LEENDERS, R.T.A.J., DOLFSMA, 2016; MORELLI; EPPINGER; GULATI, 1995). Para leenders, R.T.A.J., Dolfisma (2016), As redes sociais são construções que surgem das interações entre participantes (atores, nós, ou vértices) em um sistema social, o qual pode ser desdobrado em vários níveis de análise (por exemplo, indivíduos, times, organizações).

A análise de redes foi utilizada para buscar entender como os membros de um projeto de manufatura distribuída interagem entre si, quais são os padrões de comunicação entre os atores, e também, como ocorre a interação com o conhecimento armazenado no ambiente de compartilhamento.

Para o mapeamento da rede social do projeto, utilizou-se o *software* UCINET 6, proposto por (BORGATTI; EVERETT; FREEMAN, 2002). Para explorar as relações de comunicação e compartilhamento de conhecimento entre os membros do projeto, foram definidos três tipos de análise, baseado em (ROSSI; CARVALHO; BIANCHINI, 2015):

- **Compartilhamento de conhecimento: para analisar o conhecimento compartilhado entre os dois sítios de desenvolvimento:** a partir da análise dos conteúdos desenvolvidos (Tabela 2) e trocados (arquivos de email) pelos integrantes do projeto;
- **Atividades desenvolvidas pela equipe de projeto:** traçada a partir do acompanhamento do projeto e verificação dos autores das atividades desenvolvidas;
- **Comunicação entre a equipe:** traçada a partir da análise da troca de emails entre os integrantes da equipe.

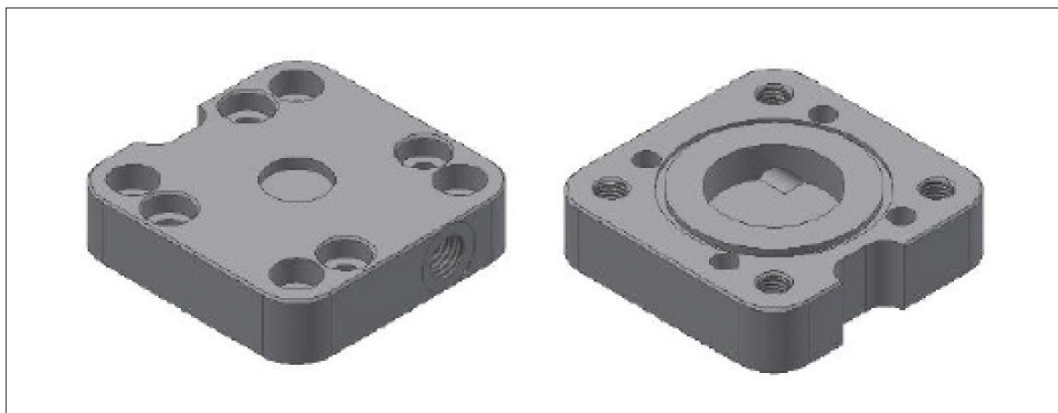
## 4. RESULTADOS

### 4.1. Caracterização do projeto

O cenário em questão foi desenvolvido na Universidade Técnica de Darmstadt (TUD), na Alemanha, e na Universidade de São Paulo (USP), Brasil, em um projeto de produção colaborativa (AGUIAR et al., 2015). Nesse cenário, a TUD representa a fábrica central e a USP representa a fábrica distante geograficamente. A implementação do cenário faz parte de um projeto de pesquisa mais amplo dentro de um *framework* colaborativo chamado BRAGECRIM (Iniciativa Brasil-Alemanha para Pesquisa Colaborativa em Tecnologia de Manufatura).

O cenário é focado na produção da tampa de um cilindro pneumático (Figura 1). Essa peça é um item padrão já utilizado no Centro para Produtividade Industrial (CiP – do inglês *Center for Industrial Productivity*) localizado na TUD. Simplificações foram feitas no modelo da tampa de um cilindro pneumático para facilitar a fabricação por manufatura aditiva no equipamento disponível. A tampa do cilindro pneumático foi selecionada uma vez que possui as características necessárias para ser produzida em um processo de MA, com tamanho, complexidade e valor adequado.

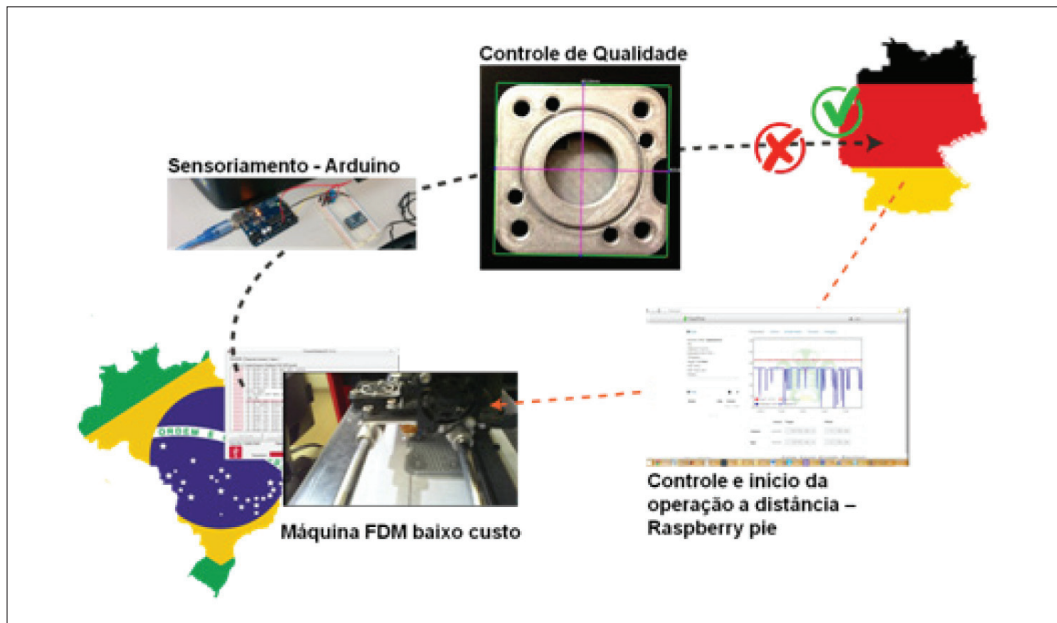
Figura 1 – Tampa do cilindro pneumático.



Fonte: (METTERNICH; ABELE, 2015).

A implementação do cenário foi baseada em tecnologias de MA e comunicação de baixo custo, uma vez que o objetivo do projeto é analisar os impactos organizacionais na rede de projetos de manufatura distribuída. Uma máquina FDM de baixo custo foi utilizada. As tecnologias de comunicação utilizadas foram baseadas em sensores de baixo custo, Arduino e uma Raspberry Pi, além de *softwares* de fonte aberta, criando um ambiente conectado através da internet - conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 – Descrição do cenário.



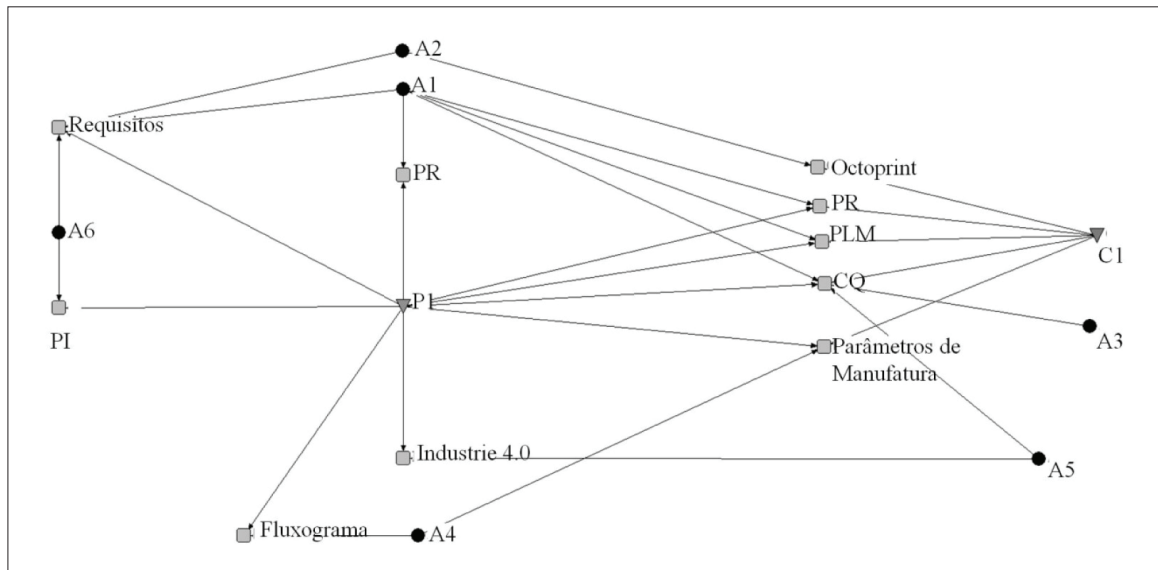
Fonte: Os autores.

## 4.2. Análise da rede do projeto

Com base na análise documental e análise da plataforma de comunicação, foi possível mapear como se dá a troca de conhecimento prático entre os atores do projeto (Figura 3), como se dá a dinâmica das atividades do projeto e seus atores-chave (Figura 4) e como se dá a comunicação entre os atores do projeto (Figura 5). O objetivo dessas redes é identificar o comportamento das equipes em um projeto de manufatura distribuída.

Analisando a rede de conhecimento (Figura 3), é possível ver que o membro C1 da equipe brasileira participa de todas as etapas práticas de construção do cenário, como os *softwares*. Já o membro P1 da equipe brasileira participa da construção teórica de todos os temas do projeto. Além disso, da equipe alemã, é possível perceber que o trabalho prático foi desenvolvido por um grupo de três alunos que se concentraram na execução da manufatura, A2, e na execução de atividades paralelas, A3 e A1. É possível perceber que na fábrica central o trabalho é distribuído por área de conhecimento enquanto que no sítio distribuído, apenas um membro concentra o conhecimento desenvolvido nos cenários.

Figura 3 – Rede de conhecimento para atores.



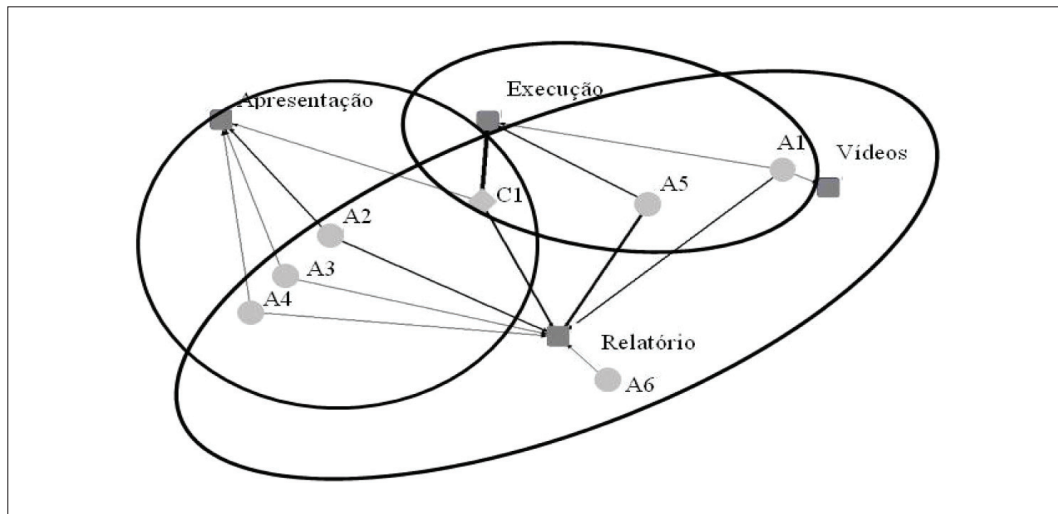
Nota: Os itens em círculos são os atores e os em quadrado as atividades.

Fonte: Os autores.

Da mesma forma, na realização das atividades (Figura 4), é possível perceber que todos os alunos participaram da construção do relatório. Entretanto se dividiram em dois grupos para a realização das outras atividades. Um grupo participou da construção da apresentação e outro da execução do cenário. Além disso, é possível identificar que um dos alunos participou menos das atividades. Da equipe brasileira, apenas o membro C1 participou das principais atividades, como apresentação, relatório e execução. A linha mais grossa para a execução é condizente com o fato de que toda a execução foi realizada no Brasil.



Figura 4 – Rede de atividades para atores.

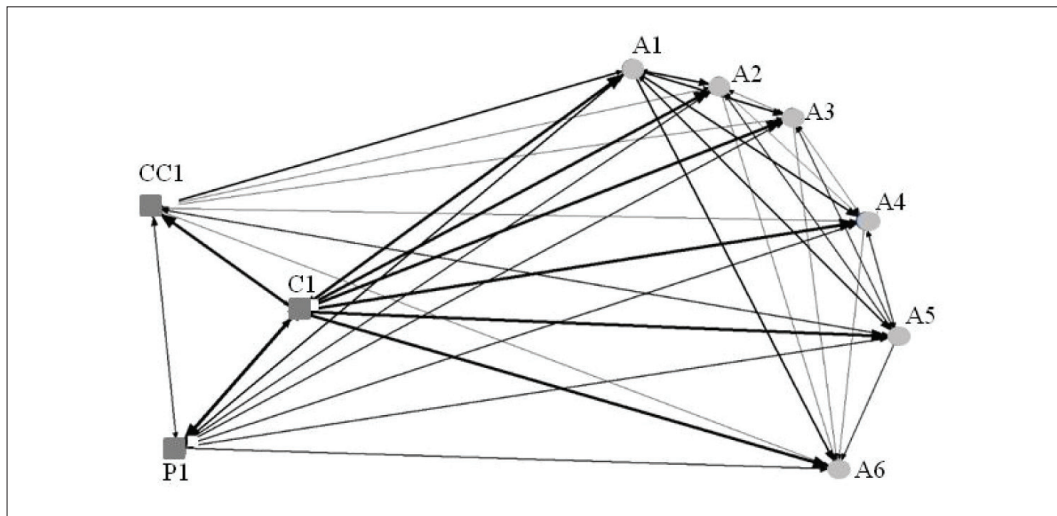


Nota: Os itens em círculo são os atores da equipe alemã, o losango é o ator da equipe brasileira e os itens em quadrado representam as atividades.

Fonte: Os autores.

Com a rede de comunicação, Figura 5, é possível perceber que do lado alemão, onde o modelo da peça foi desenvolvido, houve uma elevada troca de informações entre os membros da equipe, indicando que para a construção do modelo, muita informação foi trocada entre os membros que participaram do seu desenvolvimento. Outro ponto a ser destacado nessa rede é o fato de que há um concentrador de comunicação do lado brasileiro, de execução, representado pelo elemento C1, e há pouca comunicação entre os membros do lado brasileiro, sendo condizentes com as demais redes, uma vez que as atividades só passam pelo membro C1 do lado brasileiro.

Figura 5 – Rede de comunicação.



Fonte: Os autores

## 5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Analisando os resultados descritos nas redes das Figuras 3, 4 e 5, é possível inferir alguns resultados que podem ser extrapolados para outros projetos de manufatura distribuída. Primeiramente, é possível apontar que o responsável pela execução da manufatura deve transitar por todas as áreas de conhecimento envolvidas no projeto, confirmando os pontos levantados por (GOLES, T.; HAWK, S.; KAISER, 2008), como prospecção de mão de obra qualificada e equipes remotas em centros de excelência; em segundo lugar, a comunicação deve ser centralizada em torno do ator que realiza o cenário; finalmente, a comunicação é maior do lado do projeto responsável pelo desenvolvimento do modelo, de tal forma a mitigar as diferenças de fuso e organização entre as equipes de trabalho (KRUGLIANSKAS, I. THAMHAIN, 2000).

Dessa forma, é possível identificar que há uma inversão no padrão esperado do trabalhador nos diferentes sítios de produção. Atualmente, é esperado que o trabalhador responsável pela fabricação da peça detenha conhecimento apenas do processo específico que realiza, sem entender do processo como um todo

ou mesmo do produto completo, com fácil padronização (KHAJAVI; PARTANEN; HOLMSTRÖM, 2014b); já o trabalhador da fábrica central deve entender sobre todo o processo para que possa projetar o modelo que será utilizado na fabricação. Com a inserção de projetos de manufatura distribuída, o perfil é invertido. Espera-se que os atores responsáveis pela manufatura desenvolvam conhecimento sobre todo o processo, uma vez que caso haja algum problema na fabricação, a fábrica central deve atuar independentemente de não possuir controle sobre o processo. Já para os atores da fábrica central, é esperado que os trabalhadores desenvolvam conhecimento sobre todas as operações, uma vez que terão o controle sobre todo o processo. A distribuição da produção altera a forma como ocorrem os relacionamentos entre os membros do projeto.

Entretanto, o presente estudo apresentou algumas limitações que devem ser levadas em consideração para o desenvolvimento de trabalhos futuros. Primeiramente, o desenvolvimento das redes foi feito de forma posterior ao desenvolvimento do caso. Dessa forma, 6. alguns detalhes que poderiam ser acompanhado desde o início, foram obtidos por meio do tratamento de dados disponíveis. Em segundo lugar, seria importante desenvolver um projeto de manufatura com diversos centros de produção, além disso, analisar mais profundamente as relações intra grupos e quais os principais fatores envolvidos nesse relacionamento, especialmente no contexto da manufatura brasileira.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo apoio aos envolvidos no projeto. Os autores também gostariam de agradecer aos alunos envolvidos no desenvolvimento do projeto – Lucas Jordan Aguiar, Renata Cavalcanti, Lucas Hideki Furushio, João Guilherme Surita, Rafael Vasto, Ana Beatriz Gomes Zanforlin, Beatriz Rizental Machado e Gustavo Marim.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, L. J. **Implementation of Global Industry 4.0 Additive Manufacturing Scenarios**. Darmstadt: 2015.
- ANDERL, R. *Industrie 4.0 - Advanced Engineering of Smart Products and Smart Production*. 2014. 19. *In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ALTA TECNOLOGIA. Anais...* Piracicaba, São Paulo: 2014.
- ANDERL, R. *Industrie 4.0 - technological approaches, use cases, and implementation*. **Automatisierungstechnik**, v. 3, p. 753-765, 2015.
- BATALLAS, D. A.; YASSINE, A. A. Information Leaders in Product Development Organizational Networks: Social Network Analysis of the Design Structure Matrix. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 53, n. 4, p. 570-582, 2006.
- BATTIN, R.; CROKER, R.; KREIDLER, J. Leveraging Resources in Global Software Development. **IEEE Software**, v. 18, n. 2, p. 70-77, 2001.
- BORDEN, A.; NETT, B. W. V. Coordination Practices in Distributed Software Development of Small Enterprises. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GLOBAL SOFTWARE ENGINEERING*. 2007. 2. **Anais...** 2007
- BORGATTI, S. P.; EVERETT, M. G.; FREEMAN, L. C. **UCINET 6 for Windows: Software for social network analysis - USER'S GUIDE**. Cambridge, 2002. Disponível em: <[www.analytictech.com/ucinet/help.htm](http://www.analytictech.com/ucinet/help.htm)>. Acessado em: 13 de fevereiro 2015.
- BRETTEL, M.; FRIEDERICHSEN, N.; KELLER, M.; ROSENBERG, M. How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. **International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering**, v. 8, n. 1, p. 37-44, 2014.
- BREUNINGER, R.; BECHER, R.; WOLF, A.; ROMMEL, S.; VERL, A. **Generative Fertigung mit Kunststoffen**. Springer, 2013.

CARMEL, E.; AGARWAL, R. Tactical Approaches for Alleviating Distance in Global Software Development. **IEEE Software**, v. 18, 2001.

CATALDO, M.; BASS, M.; HERBSLEB, J. D.; BASS, L. On Coordination Mechanisms in Global Software Development. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GLOBAL SOFTWARE ENGINEERING*. 2007. 2. **Anais...** 2007.

CHANG, K. T.; EHRLICH, K. Out of sight but not out of mind?: Informal networks, communication and media use in global software teams. *In: CONFERENCE OF THE CENTER FOR ADVANCED STUDIES ON COLLABORATIVE RESEARCH*. 07. 2007. (CASCON '07). **Anais...** New York, NY: 2007.

DURÃO, L. F. C. S.; CHRIST, A.; ANDERL, R.; SCHUTZER, K.; ZANCUL, E. Distributed Manufacturing of Spare Parts based on Additive Manufacturing: Use Cases and Technical Aspects. **Procedia CIRP**, v. 57, p. 704-709, 2016.

ESPINOSA, J. A.; SLAUGHTER, S. A.; KRAUT, R.E. Familiarity, complexity, and team performance in geographically distributed software development. **Organization Science**, v. 18, n. 4, p. 613-630, 2007.

GANDHI, A.; MAGAR, C.; ROBERTS, R. How technology can drive the next wave of mass customization. **MC Kinsey & Company's Business Technology Journal**, p. 1-8, 2014.

GEBHARDT, A. **Understanding Additive Manufacturing: Rapid prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing**. Hanser, 2011.

GIBSON, I.; ROSEN, D.; STUCKER, W. **Additive Manufacturing Technologies**. Rapid prototyping to Direct Digital Manufacturing. Springer US, 2010.

GOLES, T.; HAWK, S.; KAISER, K. M. Information technology workforce skills: The software and IT services provider perspective. **Information Systems Frontiers**, v. 10, n. 2, p. 179-194, 2008.

GORTON, I.; MOTWANI, S. Issues in co-operative software engineering using globally distributed teams. **Information and Software Technology**, v. 38, n. 10, p. 647- 655. 1996.

GRIMM, M.; CHRIST, A.; ANDERL, R. Distributed Additive Manufacturing - Concept for the Application of JT (ISO 14306) as Downstream Process Format. *In: INTERNATIONAL DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCES AND COMPUTERS AND INFORMATION (ASME, IDETC/CIE). Anais...* Boston: 2015.

HERBSLEB, J. D.; GRINTER, R. E. Architectures, coordination, and distance: Conway's law and beyond. **IEEE Software**, v. 16, n. 5, p. 63-70, 1999.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0** - Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Berlin: 2013.

KHAJAVI, S. H.; PARTANEN, J.; HOLMSTRÖM, J. Additive manufacturing in the spare parts supply chain. **Computers in Industry**, v. 65, n. 1, p. 50-63, 2014a.

KHAJAVI, S. H.; PARTANEN, J.; HOLMSTRÖM, J. Additive manufacturing in the spare parts supply chain. **Computers in Industry**, v. 65, p. 50-63, 2014b.

KRUGLIANSKAS, I. THAMHAIN, H. Managing Technology-Based Projects in Multinational Environments. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 47, n. 1, p. 55-64, 2000.

LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, v. 3, p. 18-23, 2015.

LEENDERS, R.T.A.J., DOLFSMA, W. A. Social Networks for Innovation and New Product Development. **Journal of Product Innovation Management**, v. 33, n. 2, p. 123-131, 2016.

MAÇANARES, C. G.; ZANCUL, S.E.; CAVALCANTO, J. S.; CAUCHICK, P. M. Additive manufacturing process selection based on parts' selection criteria. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 80, 2015.

METTERNICH, J.; ABELE, E. **Process Learning Factory**. 2015

MIGUEL, P. A. C.; MELLO, C.P.; TURRIONI, J.B.; XAVIER, A.F.; CAMPOS, D.F. Pesquisa-ação na Engenharia de Produção. **Revista Produção**, v. 22, n.1, p. 1-13, 2010.



MONOSTORI, L. Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. **Procedia CIRP**. 2014.

MORELLI, M.; EPPINGER, S. D.; GULATI, R. K. Predicting technical communication in product development organization. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v.10, n. 2, 1995.

NUNEZ, D.; BORSATO, M. Panorama Atual Dos Sistemas Ciber. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DA INOVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS. 10. 2015. **Anais...** 2015.

PETROVIC, V.; GONZALES, J. V. H.; FERRANDO, O. J.; GORDILLO, J. D.; PUCHADES, J. R. B.; GRINAN, L. P. Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 4, p. 1061–1079, 2011.

PICCARD, A.; ANDERL, R. Integrated Component Data Model for Smart Production Planning. *In*: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ALTA TECNOLOGIA, 19, 2014. **Anais...** Piracicaba, São Paulo: 2014.

PRIKLADNICKI, R.; AUDY, J. L. N. Towards a model of software development process for a physically distributed environment – Minimizing communication difficulties and adding planning and evaluation view to the software development life cycle. *In*: CONGRESSO ARGENTINO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN, 7, 2002. **Anais...** CACIC: 2002.

REDMILES, D.; HOEK, A. V.; AL-ANI, B.; HILDENBRAND, T.; QUIRK, S.; SARMA, A.; SILVA, R. S. F.; SOUZA, C.; TRAINER, E. A new paradigm to support globally distributed software development projects. **Wirtschafts Informatik**, v. 49, 2007.

ROBSAWN, E. **The Age of Revolution**. [s.l: s.n.]. v. 39.1961.

ROMMEL, S.; FISCHER, A. Additive Manufacturing - A Growing Possibility to Lighten the Burden of Spare Parts Supply. **Digital Product and Process Development Systems**. [s.l.]. p. 112–123.2013.

ROSSI, A. C.; CARVALHO, M. M.; BIANCHINI, C. P. **Formação de redes em ambientes virtuais de projetos de desenvolvimento de software**. 2015.

S. SCHLUND, D. M. AND O. G. W. B. **Indústria 4.0** – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. Bitkom - Berlin, 2014.

SILVA, R. M.; FO, D. J. S.; MIYAGI, P. E. Modelagem de sistema de controle da indústria 4.0 baseada em holon, agente, rede de petri e arquitetura orientada a serviços. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE*, 7, 2015. **Anais...** 2015.

SINHA, V. S.; SENGUPTA, B.; GHOSAL, S. An Adaptive Tool Integration Framework to Enable Coordination in Distributed Software Development. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GLOBAL SOFTWARE ENGINEERING*. 2. 2007. **Anais...** 2007

SOMMER, L. Industrial revolution - Industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution? **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 8, n. 5, p. 1512–1532, 2015.

UPCRAFT, S.; FLETCHER, R. The rapid prototyping technologies. **Assembly Automation**, v. 23, p. 318–330, 2003.

WIRIDU, G. O. Understanding the functions of teleconferences for coordinating global software development projects. **Information Systems Journal**, v. 21, n. 2, p. 175-194, 2011.

WITTBRODT, B. T. et al. Life-cycle economic analysis of distributed manufacturing with open-source 3-D printers. **Mechatronics**, v. 23, n. 6, p. 713–726, 2013.