

Modelagem e análise de uma arquitetura do sistema de aquisição de *big data* no contexto da Indústria 4.0

Felipe A. Coda*. Marcosiris A. O. Pessoa*.
Diolino J. Santos Filho*. Fabrício Junqueira*. Paulo E. Miyagi*

* *Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, SP*
(e-mail: {coda.felipe; marcosiris; diolinos; fabri; pemiayagi} @ usp.br).

Abstract: Industry 4.0 (I4.0) is a reference for an industrial revolution based on new productive paradigms. The new paradigms consider the connectivity between all assets (equipment, machines, sensors, people, systems), exponentially increasing the amount of data generated, transmitted and processed, which further increases the complexity of the systems. Thus, the specification of systems associated with this big data environment, especially within the scope of I4.0, is not trivial and demands new solutions. Considering that data collection is one of the fundamental activities of this system, the modeling and analysis of an architecture of a big data acquisition system is presented here. The study is based on the PFS / PN (Production Flow Schema / Petri net) technique, which has an adequate formalism to describe the system's functionalities, its components and the relationships between them.

Resumo: A Indústria 4.0 (I4.0) é uma referência para uma revolução industrial baseada em novos paradigmas produtivos. Os novos paradigmas consideram a conectividade entre todos os ativos (equipamentos, máquinas, sensores, pessoas, sistemas), aumentando exponencialmente a quantidade de dados gerados, transmitidos e processados o que incrementa ainda mais a complexidade dos sistemas. Assim, a especificação de sistemas associados a esse ambiente de *big data* em especial no âmbito da I4.0 não é trivial e demanda novas soluções. Considerando que a coleta de dados é uma das atividades fundamentais desse sistema, apresenta-se aqui a modelagem e análise de uma arquitetura de um sistema de aquisição de *big data*. O estudo é baseado a técnica do PFS / PN (*Production Flow Schema/Petri net*), que conta com um formalismo adequado para descrever as funcionalidades do sistema, seus componentes e as relações entre estes.

Keywords: industrial automation; Industry 4.0; big data acquisition; Petri net.

Palavras-chaves: automação industrial; Indústria 4.0; aquisição de *big data*; rede de Petri.

1. INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 (I4.0) ou quarta revolução industrial foi mencionada pela primeira vez em 2011 na feira de Hannover e teve início com o projeto “*Plattform Industrie 4.0*” em 2013 (Kagermann, Wahlster e Helbig, 2013). No trabalho de Rüssmann *et al.* (2015) se reconhece que esta revolução é composta por nove pilares tecnológicos sendo que um deles é o *big data*. Além disso, trabalhos como de Lee *et al.* (2015) sustentam que o *big data* e seus sistemas é, de fato, um dos pilares fundamentais para a realização da I4.0.

Em uma visão mais conceitual e genérica o sistema de *big data* envolve processos que podem ser vistos como de mesma natureza que os sistemas a eventos discretos (SEDs) (Chen, Li and Wang, 2015) de modo que técnicas de modelagem, análise e caracterização de soluções de controle de SEDs podem ser utilizadas. Assim, identifica-se um caminho para avaliar e aprimorar um sistema de *big data* para a I4.0, via técnicas como a rede de Petri (PN) e suas diversas extensões e interpretações como, o *Production Flow Schema* (PFS) e outras versões (Zhang *et al.*, 2017).

Outro ponto de destaque é que já existem trabalhos que sugerem uma orientação para a organização de sistemas na I4.0. Dentre eles se destaca o RAMI 4.0 (*Reference Architectural Model for Industry 4.0*) que é um modelo de arquitetura de referência para a implementação da I4.0 (Adolphs *et al.*, 2015). Todos os componentes da I4.0, inclusive os relacionados com o *big data*, devem atender ao RAMI 4.0.

Assim, visando o desenvolvimento e implementação prática de sistemas de *big data* na I4.0, este trabalho foca inicialmente na avaliação de uma arquitetura de um sistema para o processo de aquisição de *big data* na I4.0. Os processos aqui considerados são derivados de arquiteturas de referência para *big data* (NBD-PWG, 2015) e na literatura correlata, além de ser estruturada conforme as “camadas” do RAMI 4.0, que descrevem as funcionalidades de sistemas na I4.0. A modelagem e análise da arquitetura são realizadas usando a técnica do PFS/PN, que conta com um formalismo adequado para descrever as funcionalidades do sistema, seus componentes e as relações entre estes.

2. FUNDAMENTOS

Os fundamentos envolvidos neste trabalho são apresentados a seguir. Uma discussão mais detalhada do *big data* e das camadas do RAMI 4.0 podem ser encontradas respectivamente em (Coda *et al.*, 2018) e (Coda, *et al.*, 2019a).

Para mais detalhes sobre a arquitetura de aquisição de *big data* aqui avaliada vide (Coda *et al.*, 2020).

2.1 Sistema a eventos discretos

De acordo com Miyagi (1996) e Cassandras e Lafortune (2008), um sistema a eventos discretos (SED) é uma forma de descrever o comportamento de um sistema caracterizado pela ocorrência de eventos que alteram de forma discreta e instantânea/abrupta o estado do sistema. Este comportamento é apresentado em sistemas concebidos com base em regras e procedimentos definidos pelo homem (*man-made systems*), como é o caso de sistemas de processamento digital de dados.

2.2 PFS/PN

Dentre as várias técnicas utilizadas para a modelagem de SEDs destaca-se a rede de Petri (PN) (Murata, 1989; Miyagi, 1996), em princípio, pela sua forma gráfica de representar processos e sistemas e que reconhecidamente é útil e efetiva para a análise estrutural e funcional de processos e sistemas. Além disso, um modelo em PN é relativamente fácil de ser convertido em programas que são carregados e executados em controladores programáveis industriais. Entende-se que esta é uma técnica efetiva de especificação de soluções de controle, isto é, é confiável e eficiente como um guia para a implementação prática da automação de processos ou de sistemas (objeto do estudo).

Esta técnica tem sido usada na modelagem de sistemas dinâmicos (Srinivasan e Venkatasubramanian, 1998; Li, Zhang e Zhao, 2007), incluindo as áreas relacionadas com protocolos de comunicação, algoritmos distribuídos, arquiteturas de computadores, interação homem/máquina (Elkoutbi e Keller, 1998; Zhang *et al.*, 2017).

Um modelo em PN pode ser interpretado para cada caso (cada aplicação) e, diferentes abordagens podem ser adotadas o que comprova seu poder de modelagem e oferece maior liberdade ao desenvolvedor dos modelos. Entretanto, isso acarreta em diferentes interpretações de acordo com a visão do desenvolvedor e, esta falta de uniformidade compromete o estudo e desenvolvimento de sistemas de grande porte e relativamente complexos onde muitos atores e diferentes formas e níveis de interação entre eles estão envolvidos. Assim, no final da década de 80 o PFS (*Production Flow Schema*) foi desenvolvido e proposto para sistematizar o desenvolvimento de modelos de sistemas produtivos (Hasegawa, Takahashi e Miyagi, 1988).

O modelo em PFS é um grafo interpretado derivado de PN para representar processos e sistemas em diferentes níveis de abstração. Segundo Pisching *et al.* (2018) o PFS permite detalhar gradativamente, segundo uma abordagem *top-down*,

as funcionalidades envolvidas e os fluxos de itens (materiais ou informação) relacionados num modelo em PN. Devido ainda à sua linguagem intuitiva, os modelos gerados podem ser facilmente entendidos por diferentes especialistas (por exemplo, engenheiros, *designers* ou arquitetos).

Os fluxos de “itens” em um modelo em PFS podem ser classificados em tipos – “primário”, “secundário” e, de acordo com Melo *et al.* (2010), um terceiro tipo também pode ser considerado para representar a “interação” entre componentes de um sistema de informações como operações de solicitação e resposta.

Ao converter o modelo em PFS para PN, o fluxo de “interação” faz uso do conceito de “fusão de transições” (neste texto, os termos específicos da PN estão sublinhados). A fusão de transições é utilizada quando existe uma relação de acesso entre dois modelos, assim, transições de modelos PN distintos podem se comportar como se fossem a mesma transição, sendo necessário que as condições de ambas sejam satisfeitas para que ocorra o disparo (Junqueira, 2006).

A Fig. 1 ilustra a aplicação da abordagem *top-down* do PFS onde, a partir do processo esquematizado em (a), suas atividades são progressivamente detalhadas em (b), até que se derivem os modelos em PN em (c). Para efeito de simulação, as transições que ligam as camadas de cores diferentes são modeladas como uma única transição.

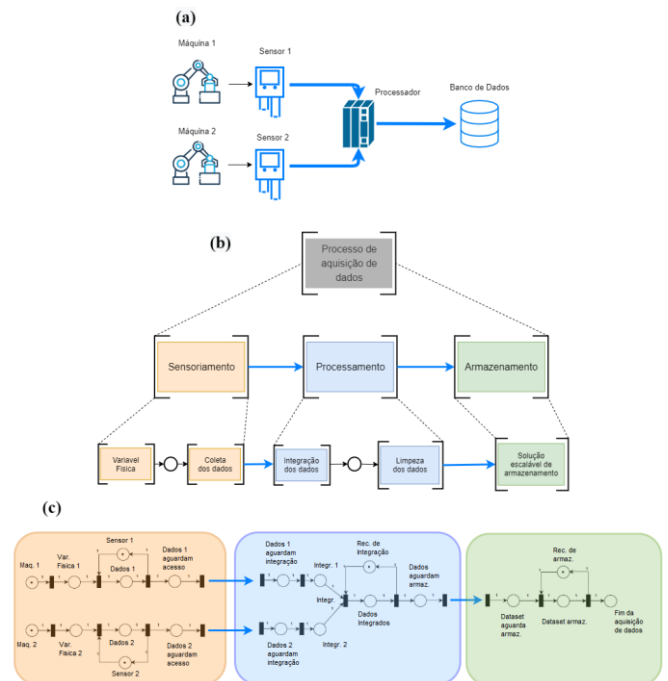


Fig. 1. Exemplo de modelagem em PFS: (a) é um esquema do processo; (b) são os modelos em PFS da estrutura geral do processo; (c) são os modelos PN derivados do PFS.

Existem trabalhos como (Li, Zhang e Zhao, 2007) e (Ratzer *et al.*, 2003) que formalizam técnicas similares ao PFS, mas adotando denominações S*PR (*Sequential Process with Resources*). Entretanto, para o presente estudo isso não é fundamental, já que o PFS é usado apenas para sistematizar o

desenvolvimento dos modelos em PN onde a análise funcional do sistema é efetivamente realizada.

3. MODELAGEM DO PROCESSO DE AQUISIÇÃO DE BIG DATA

3.1 Modelagem em PFS

O modelo em PFS do processo de aquisição de *big data* para I4.0 mapeia as etapas do processo nas camadas do eixo de “Assets” do RAMI 4.0 (é mantida a denominação em inglês para indicar que se trata de como o RAMI 4.0 define e trata estas camadas), isto é:

Business: nesta camada estão as regras a serem consultadas para garantir a integridade dos ativos do sistema;

Functional: nesta camada são consultados os serviços e interfaces disponíveis para a integração horizontal e a descrição das funcionalidades do sistema. Esta camada também é responsável por gerar a lógica para a tomada de decisão na camada inferior;

Information: nesta camada os dados são armazenados em uma solução compatível com as necessidades do processo. Nesta camada também são realizadas as análises de dados seguidas do processo de tomada de decisão;

Communication: nesta camada os dados coletados por todas as fontes são integrados e filtrados, removendo dados

irrelevantes ou redundantes. Aqui também são associados aos dados os protocolos de comunicação;

Integration: nesta camada estão as funcionalidades responsáveis por conectar os mundos real e virtual. Aqui também está o processo de associação da tecnologia de comunicação aos dados coletados;

Asset: nesta camada estão os elementos físicos do processo (e.g. equipamentos, produtos, sensores, atuadores, etc.), portanto, aqui se tem as fontes dos dados.

Assim, a partir do detalhamento das atividades do processo de aquisição de *big data* desenvolvido em (Coda, *et al.*, 2019b) as atividades deste processo podem ser relacionadas ao contexto da I4.0, por meio das camadas do RAMI 4.0.

A Fig. 2 ilustra o modelo PFS do processo de aquisição de *big data* na I4.0.

3.2 Modelagem em PN

A partir do modelo em PFS detalham-se as atividades envolvidas no processo de aquisição de dados em PN. Os modelos em PN são utilizados para verificar e confirmar o comportamento do sistema, isto é, para confirmar se o sistema pode operar segundo as condições impostas. A modelagem apresentada neste estudo foi elaborada e analisada via técnica de simulação e utilizando a ferramenta PIPE2 (*Platform Independent Petri net Editor 2*)¹.

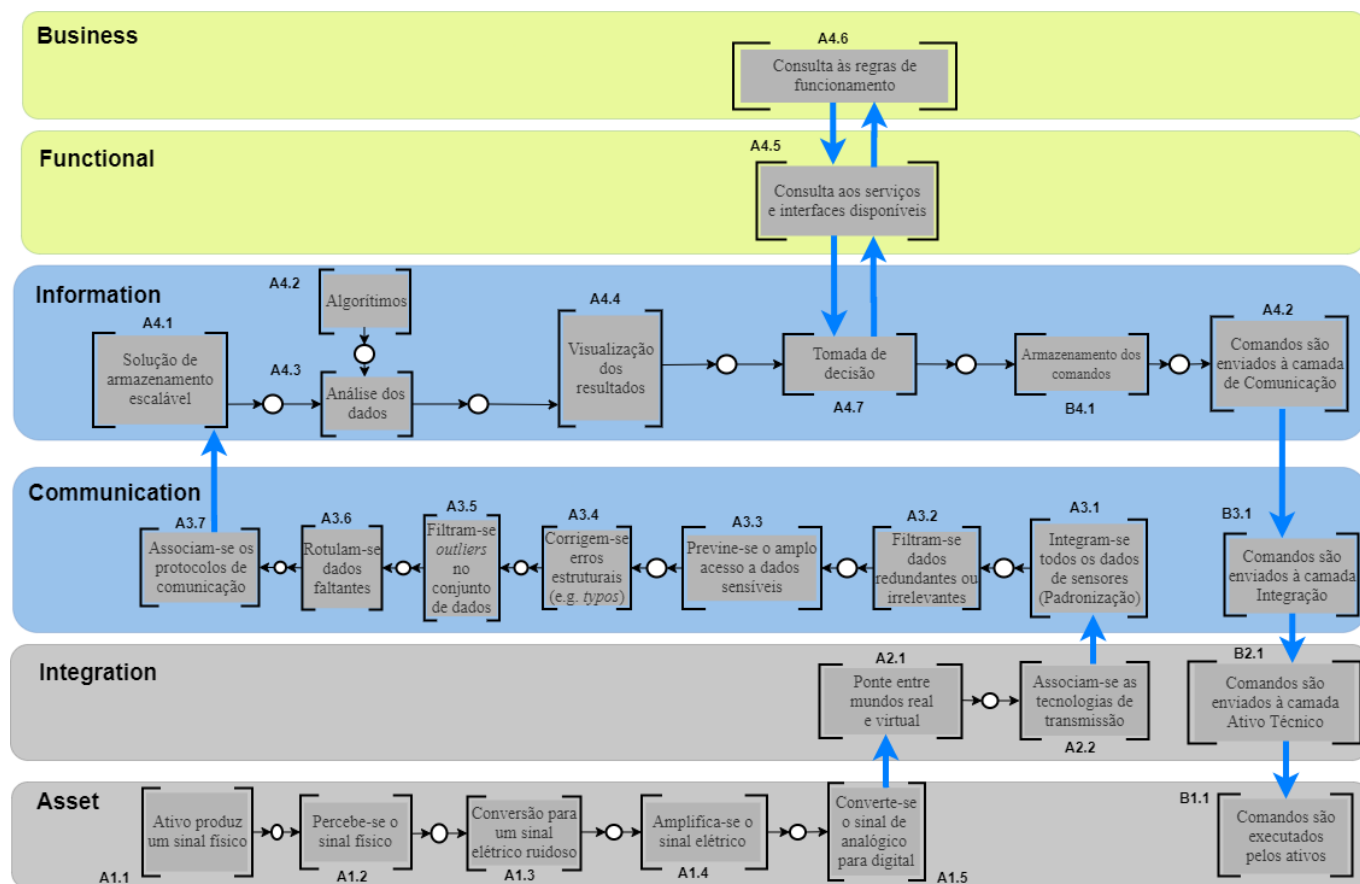
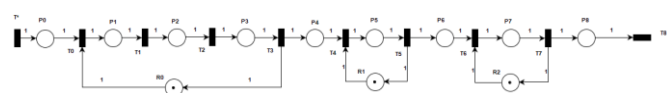


Fig. 2. PFS do processo de aquisição de dados na I4.0.

Pisching *et al.* (2018) exemplificam alguns dos aspectos do sistema que podem ser verificados a partir da simulação do seu modelo em PN como *deadlocks* (i.e. impasses que travam o sistema em um dos seus estados) ou o seu comportamento dinâmico, assegurando que as funcionalidades do sistema foram projetadas corretamente.

O modelo em PN do processo elaborado a partir do modelo em PFS (Fig. 2) é apresentado a seguir.

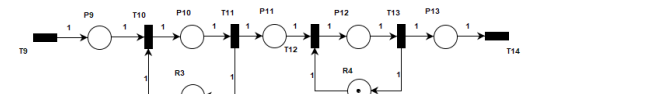
Na camada “**Asset**” da RAMI 4.0 estão as funcionalidades de sensoriamento das variáveis físicas do dispositivo de campo (Measurement Computing Corporation, 2012; NBD-PWG, 2015; Pisching *et al.*, 2018) - elementos de A1.1 a A1.5 no PFS. A Fig. 3 apresenta o modelo em PN das funcionalidades na camada “**Asset**”.



Lugares	Significado	Transições	Função
P0	Variável física produzida	T ⁰	Transição fonte
P1	Sinal físico percebido	T0	Processamento da variável física
P2	Sinal elétrico	T1	Conversão para sinal elétrico
P3	Sinal elétrico amplificado	T2	Amplificação do sinal elétrico
P4	Sinal analógico aguarda conversão para digital	T3	Sensor liberado
P5	Processo de conversão do sinal analógico	T4	Conversão para sinal digital
P6	Fim do sensoriamento	T5	Recurso para conversão de sinal digital liberado
P7	Disp. Controle recebe os dados	T6	Dados transmitidos ao Disp. Controle
P8	Dados aguardam acesso para virtualização	T7	Disp. Controle liberado
R0	Sensor disponível	T8	Acesso Ativo/Integração
R1	Recurso para conversão de sinal digital		
R2	Disp. Controle disponível		

Fig. 3. PN das funcionalidades na camada “**Asset**”.

Na camada “**Integration**” da RAMI 4.0 o modelo em PN reflete as funcionalidades (elemento A2.1 no PFS) necessárias para a criação de um modelo virtual dos sistemas físicos e o processo de associação da tecnologia de comunicação (Adolphs *et al.*, 2015; Cheng *et al.*, 2018; Pisching *et al.*, 2018) - elemento A2.2 no PFS. A Fig. 4 apresenta o modelo em PN das funcionalidades na camada “**Integration**”.



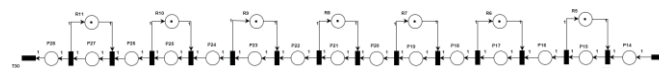
Lugares	Significado	Transições	Função
P9	Dados acessados na camada Integração	T9	Acesso Integração/Ativo
P10	Processo de formação do modelo virtual	T10	Formação do modelo virtual
P11	Modelo virtual	T11	Recurso para virtualização liberado
P12	Dados aguardam associação da tecnologia de comunicação	T12	Associação da tecnologia de comunicação
P13	Dados com tecnologia de comunicação associada	T13	Recurso para associação da tecnologia de comunicação liberado
R3	Recurso de virtualização	T14	Acesso Integração/Comunicação
R4	Recurso para associação do protocolo		

Fig. 4. PN das funcionalidades na camada “**Integration**”.

Na camada “**Communication**” da RAMI 4.0 estão as funcionalidades ligadas à integração, filtragem, limpeza e a associação dos protocolos de comunicação aos dados (Adolphs *et al.*, 2015; Chen, Li e Wang, 2015; NBD-PWG, 2015; Nehrey e Hnot, 2019) - elementos A3.1 e de A3.7 no PFS. A

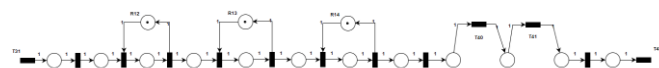
Fig. 5 apresenta o modelo em PN das funcionalidades na camada “**Communication**”.

Na camada “**Information**” da RAMI 4.0 estão as funcionalidades de armazenamento, os algoritmos utilizados, o processo de análise, a visualização dos resultados e o processo de tomada de decisão - elementos A4.1 a A4.4 e A4.7. Após a tomada de decisão, comandos de atuação a serem enviados de volta aos ativos são armazenados e enviados à camada inferior - elementos B4.1 e B4.2 (Chen, Li e Wang, 2015; NBD-PWG, 2015; Strohbach *et al.*, 2016). A Fig. 6 apresenta o modelo em PN das funcionalidades na camada “**Information**”.



Lugares	Significado	Transições	Função
P14	Dados acessados na camada Comunicação	T15	Acesso Comunicação/Integração
P15	Processo de integração dos dados	T16	Integração dos dados
P16	Dados integrados (formação de um dataset)	T17	Recurso para integração liberado
P17	Processo de filtragem	T18	Filtragem dos dados
P18	Dataset filtrado	T19	Recurso para filtragem liberado
P19	Processo de prevenção ao acesso	T20	Prevenção ao acesso
P20	Dataset com acesso restrito	T21	Recurso para prevenção ao acesso liberado
P21	Processo de correção de erros estruturais	T22	Correção de erros estruturais
P22	Dataset sem erros	T23	Recurso de correção de erros estruturais liberado
P23	Processo de remoção de outliers	T24	Remoção de outliers
P24	Dataset sem outliers	T25	Recurso de remoção de outliers liberados
P25	Processo de classificação de dados faltantes	T26	Classificação de dados faltantes
P26	Dataset com lacunas referenciadas	T27	Recurso de classificação de lacunas liberado
P27	Processo de associação de protocolo	T28	Associação do protocolo
P28	Dataset com protocolo associado	T29	Recurso de associação de protocolo liberado
R5	Recurso para integração	T30	Acesso Comunicação/Informação (comandos)
R6	Recurso para filtragem		
R7	Recurso de prevenção de acesso		
R8	Recurso de correção de erros estruturais		
R9	Recurso de remoção de outliers		
R10	Recurso de classificação de lacunas		
R11	Recurso de associação de protocolo		

Fig. 5. PN das funcionalidades na camada “**Communication**”.



Lugares	Significado	Transições	Função
P29	Dataset acessado na camada Informação	T31	Acesso Informação/Comunicação
P30	Dataset aguarda armazenamento	T32	Dataset encaminhado para armazenamento
P31	Processo de armazenamento	T33	Armazenamento do dataset
P32	Dataset armazenado	T34	Solução de armazenamento liberada
P33	Processo de análise in situ	T35	Análise do Dataset
P34	Análise do Dataset realizada	T36	Algoritmo liberado
P35	Processo de visualização dos dados	T37	Visualização dos resultados
P36	Visualização dos dados realizada	T38	Recurso para visualização dos dados liberado
P37	Aguarda processo de tomada de decisão	T39	Resultados encaminhados para tomada de decisão
P38	Processo de tomada de decisão	T40	Acesso Informação/Funcional
P39	Tomada de decisão realizada	T41	Acesso Funcional/Informação
P40	Comandos aguardam envio para à camada	T42	Comandos de atuação gerados
R12	Solução de armazenamento	T43	Acesso Informação/Comunicação (comandos)
R13	Algoritmos		
R14	Recurso de visualização		

Fig. 6. PN das funcionalidades na camada “**Information**”.

Na camada “**Funcional**” da RAMI 4.0 estão as funcionalidades (elemento A4.5) para consulta dos serviços e interfaces disponíveis para a tomada de decisão (Adolphs *et*

al., 2015; NBD-PWG, 2015). A Fig. 7 apresenta o modelo PN das funcionalidades na camada “**Functional**”.

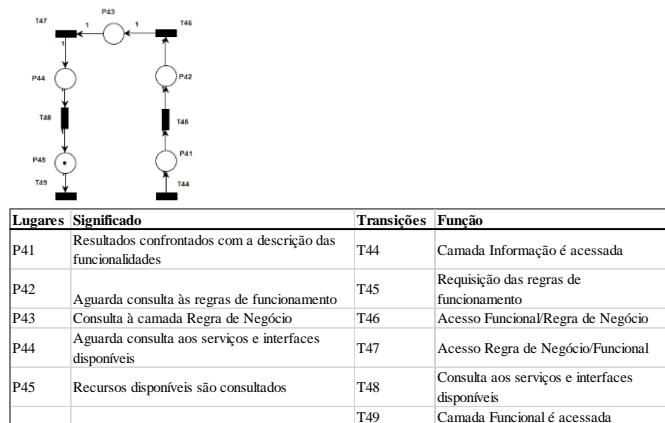


Fig. 7. PN das funcionalidades na camada “**Functional**”.

Na camada “**Business**” estão as funcionalidades (elemento A4.6) responsáveis pela consulta as regras de operação dos ativos (Adolphs *et al.*, 2015; NBD-PWG, 2015; Zhang *et al.*, 2017). A Fig. 8 apresenta o modelo PN das funcionalidades na camada “**Business**”.

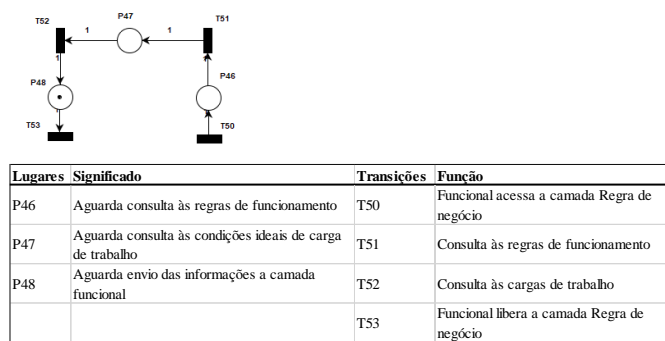


Fig. 8. PN das funcionalidades na camada “**Business**”.

Após a tomada de decisão na camada “**Information**” os comandos a serem enviados aos dispositivos físicos são enviados a camada “**Communication**” para que sejam associados protocolos de comunicação aos comandos (Adolphs *et al.*, 2015; Chen, Li e Wang, 2015; NBD-PWG, 2015; Nehrey and Hnot, 2019). A Fig. 9 apresenta o modelo PN do envio dos comandos na camada “**Communication**”.

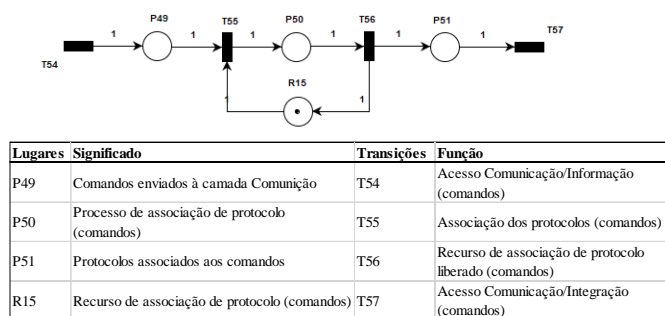


Fig. 9. PN do envio dos comandos na camada “**Communication**”.

Na camada “**Integration**”, são associadas as tecnologias de comunicação aos comandos e eles são utilizados na modificação dos parâmetros do modelo virtual dos dispositivos - elemento A2.1 (Adolphs *et al.*, 2015; Pisching *et al.*, 2018). A Fig 10 apresenta o modelo PN do envio dos comandos na camada “**Integration**”.

Na camada “**Asset**” os comandos retornam ao dispositivo de controle que orienta o funcionamento dos atuadores que intervém na operação dos dispositivos físicos - elemento B1.1 no PFS (Chen, Li e Wang, 2015; Pisching *et al.*, 2018). A Fig. 11 apresenta o modelo em PN da execução dos comandos na camada “**Asset**”.

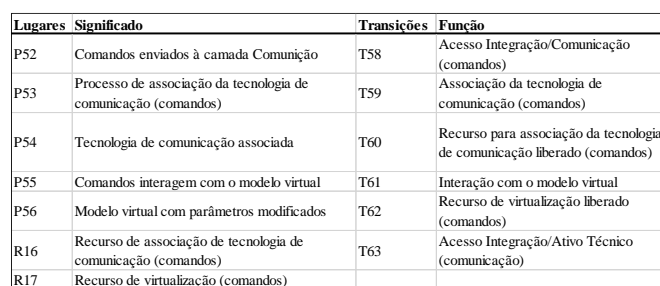
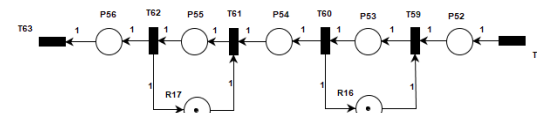


Fig. 10. PN do envio dos comandos na camada “**Integration**”.

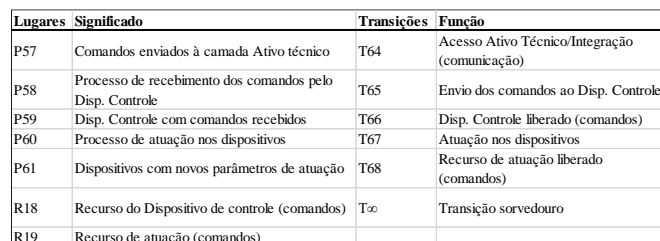
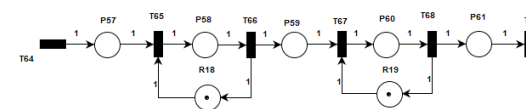


Fig. 11. PN da execução dos comandos na camada “**Asset**”.

A Fig. 12 ilustra toda a modelagem em PN do processo de aquisição de *big data* relacionada ao contexto da I4.0 por meio das camadas da RAMI 4.0. Graficamente, foi adicionado um recurso (R*), que garante que apenas uma marca existe no sistema físico, ou seja, percorre do estado P0 ao estado P61 e que o sistema é reversível (as demais marcas referem-se à disponibilidade dos recursos responsáveis pelas atividades, i.e. R0 a R19).

As transições que ligam as camadas (e.g. T8 e T9) foram separadas para facilitar o entendimento, mas conforme o conceito de fusão de transições, para efeito de simulação elas compõem uma única transição.

3.3 Verificação do sistema/processo

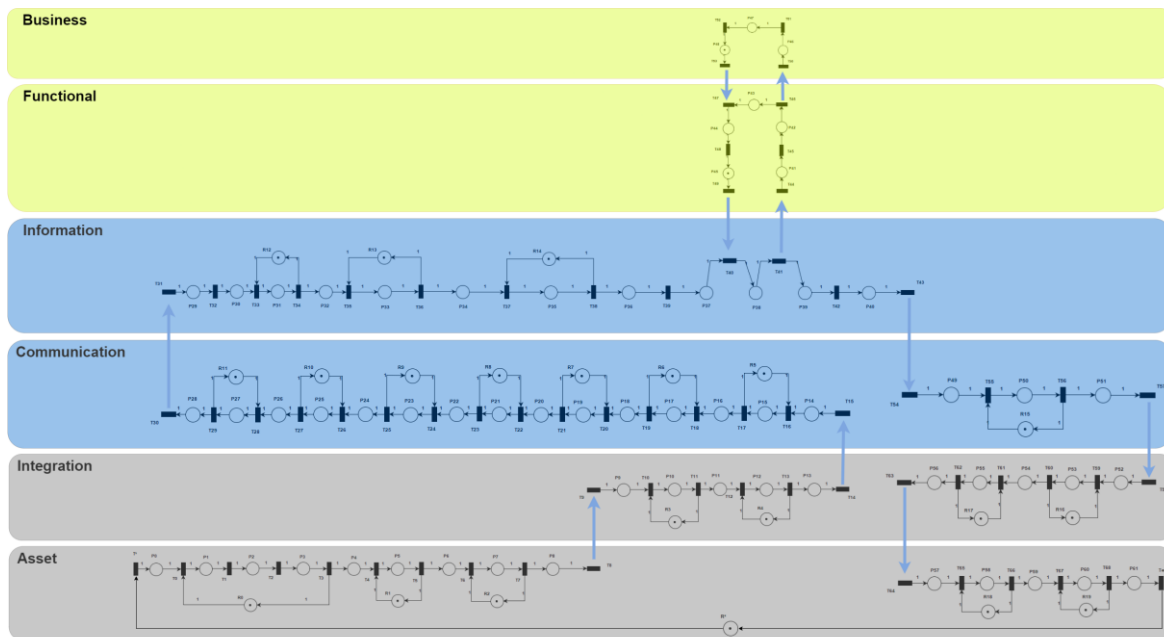


Fig. 12. PN do processo de aquisição de dados na I4.0.

O modelo resultante em PN do sistema de aquisição de dados foi analisado usando os recursos do PIPE 2, de modo que na própria edição do grafo os problemas estruturais são identificados e corrigidos. Utilizaram-se também os recursos dessa ferramenta para simulação de cenários e análise das principais propriedades comportamentais da PN (Murata, 1989) que a seguir estão sintetizadas:

Alcançabilidade: o modelo possui 204 estados alcançáveis, com 403 situações/cenários que descrevem a evolução entre estes estados;

Limitabilidade: o modelo é “1-limitado”;

Vivacidade: o modelo não contém *deadlocks*;

Reversibilidade: o estado inicial é alcançado novamente após o início do processo;

Persistência: o modelo é persistente, pois uma vez habilitada, qualquer transição do modelo se mantém habilitada até ser disparada;

Equidade: o modelo é “igual-limitado, uma vez que o número de disparos de uma qualquer transição do modelo é igual e limitado ao número de disparos das outras.

Em relação à simulação, o estado inicial conta com: (1) marcas no lugar P0 (representando a produção de uma entidade física), (2) no lugar P45 (representando que os recursos nas camadas “**Functional**” e “**Business**” estão disponíveis para serem consultados) e, (3) nos lugares R0 a R19 (representando que todos os recursos necessários para execução das atividades estão disponíveis).

A partir da análise de “alcançabilidade” se tem informações da estrutura de evolução do processo de aquisição de dados, permitindo sua verificação e, se for o caso, sugestão de

aprimoramentos. A partir da análise de “limitabilidade” e “vivacidade” tem-se um meio de confirmar a segurança na realização das funcionalidades previstas, garantindo que não haja impasses ou acumulação de itens a serem tratados. Finalmente, as análises de “reversibilidade”, “persistência” e “equidade” são utilizadas para a avaliação de situações de conflito dentro do sistema.

Vale ressaltar que os recursos descritos (por exemplo, armazenamento, algoritmos) comprovaram ter capacidade de lidar com vários processos simultâneos de coleta de dados através de instâncias, permitindo que o armazenamento ou o tratamento dos dados ocorra paralelamente combinando uma infinidade de fontes de dados. Assim o modelo é considerado funcionalmente consistente para o processo de aquisição de *big data* no contexto de I4.0.

3.4 Exemplo de aplicação no contexto da I4.0

O processo de aquisição de dados do exemplo apresentado a seguir foi simulado no modelo em PN (Fig. 12). Entende-se que este exemplo confirma as funcionalidades da arquitetura proposta em (Coda *et al.*, 2020) e demonstra a sua capacidade de atender ao ambiente de *big data*, no contexto da I4.0.

Em (Bedenbender *et al.*, 2017) é apresentado um exemplo de uma estrutura de dados proposta para a I4.0. Neste caso, um ativo (*asset*) da I4.0 denominado “MES” deve decidir entre três componentes da I4.0 qual deles utilizar, a partir de “submodelos” de dados coletados sobre características destes componentes (vide Fig. 13). A Fig. 13 mostra que cada ativo na I4.0 envolve uma estrutura administrativa própria, denominada AAS (*Asset Administration Shell*) que dispõe de uma descrição mínima, mas suficiente de acordo com os casos de uso da I4.0.

Por exemplo, na I4.0 seria possível encontrar uma máquina de furação pela busca por AASs contendo o submodelo

“Drilling” com as propriedades apropriadas. Um segundo submodelo “Energy efficiency” também pode ser considerado para garantir que a máquina de furação pode economizar energia quando não está em operação.

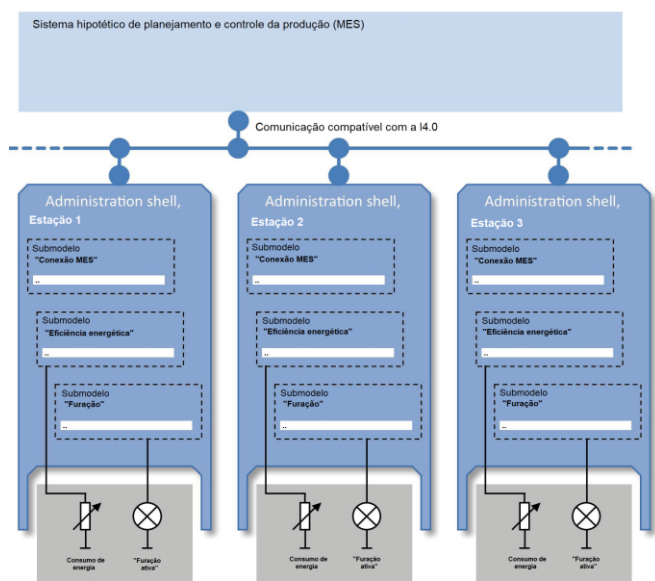


Fig. 13. Exemplo de submodelos do MES adaptado de (Bederbender, et al., 2017).

Na sequência, os autores consideram propriedades hipotéticas para campos de dados relacionados conforme a norma IEC61360, assim, estruturando os dados nesse contexto.

Sob uma visão mais geral, em (Bader et al., 2019) se tem um exemplo de uma estrutura dos dados no contexto da I4.0, utilizando diagramas UML (Unified Modeling Language) e os atributos para organização dos dados.

Desta forma assume-se que, por exemplo, um servo motor de corrente contínua é um ativo na I4.0, e que tem seus dados organizados de acordo com a Fig. 14, onde se apresenta os “submodelos” relacionados, e a Fig 15 ilustra a estrutura dos dados correspondente.



Fig. 14. Classes em UML para descrever um servomotor como um ativo da I4.0.

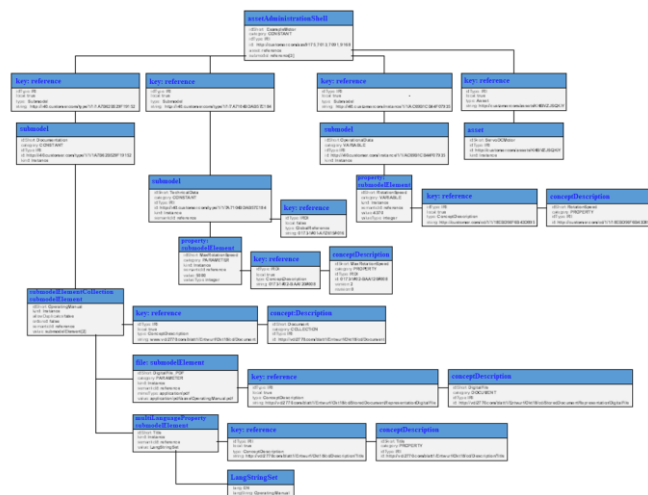


Fig. 15. Representação dos elementos que compõem um servomotor.

4. CONCLUSÕES

A arquitetura do sistema/processo de aquisição de *big data* aqui analisada foi baseada em trabalhos relacionados que identificam as principais atividades envolvidas. Essas atividades foram interpretadas para abordar o processo de maneira abrangente, considerando as funcionalidades necessárias para um sistema de aquisição de *big data*.

O modelo PN resultante deste estudo pode ser visto como uma especificação do sistema/processo de aquisição de *big data* e, como foi derivado de um modelo conceitual do sistema/processo, em PFS, que sistematiza uma abordagem *top-down*, assegura-se uma visão modularizada efetivamente útil para a implementação do sistema.

No contexto da I4.0, os modelos obtidos são entendidos como um passo em direção ao desenvolvimento de sistemas capazes de coletar dados que, devidamente tratados, podem alcançar a eficiência descrita por seus idealizadores. Os modelos obtidos permitem um estudo detalhado das funcionalidades e do desempenho dos processos envolvidos na aquisição de *big data*.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal no Nível Superior (CAPES), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e PETROBRAS.

BIBLIOGRAFIA

Adolphs, P., Bedenbender, H., Dirzus, D., Ehlich, M., Epple, U., Hankel, M., Heidel, R., Hoffmeister, M., Huhle, H., Kärcher, B., Koziolok, H., Pichler, R., Pollmeier, S., Schewe, F., Walter, A., Waser, B. and Wollschlaeger, M. (2015) *Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0)*, Igarss 2014.

Bader, S., Barnstedt, E., Bedenbender, H., Billmann, M., Boss, B., Braunmandl, A., Clauer, E., Deppe, T., Diedrich, C.,

- Flubacher, B., Fritsche, W., Garrels, K., Gatterburg, A. G., Hankel, M., Hillermeier, O., Hoffmeister, M., Jochem, M., Kogan, Y., Koziol, H., Legat, C., Lüder, A., Mahnke, W., Mendes, M., Neidig, J., Orzelski, A., Pethig, F., Sauer, M., Schier, M., Schleipen, M., Schmitt, M., Schröder, T., Stojanovic, L., Uhl, A., Usländer, T., Walloschke, T., Waser, B., Wende, J., Wiegand, M. and Ziesche, C. (2019) *Details of the Asset Administration Shell. Part 1 - The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0 (Version 2.0)*. Berlin, Germany.
- Bedenbender, H., Billmann, M., Epple, U., Hadlich, T., Hankel, M., Heidel, R., Hillermeier, O., Hoffmeister, M., Huhle, H., Jochem, M., Kiele-Dunsche, M., Koschnick, G., Koziol, H., Linke, L., Lohmann, S., Palm, F., Pichler, R., Pollmeier, S., Rauscher, B., Schewe, F., Schneider, K., Waser, B., Weber, I., Wollschlaeger, M. and Zinn, M. (2017) *Examples for the Asset Administration Shell for Industrie 4.0 Components – Basic Part*. Frankfurt am Main, Germany.
- Cassandras, C. G. and Lafortune, S. (2008) *Introduction to discrete event systems, Introduction to Discrete Event Systems*. doi: 10.1007/978-0-387-68612-7.
- Chen, K., Li, X. and Wang, H. (2015) ‘On the model design of integrated intelligent big data analytics systems’, *Industrial Management and Data Systems*. doi: 10.1108/IMDS-03-2015-0086.
- Cheng, B., Zhang, J., Hancke, G. P., Karnouskos, S. and Colombo, A. W. (2018) ‘Industrial Cyberphysical Systems: Realizing Cloud-Based Big Data Infrastructures’, *IEEE Industrial Electronics Magazine*.
- Coda, F. A., Junqueira, F., Santos Filho, D. J. and Miyagi, P. E. (2019b) ‘Big Data Acquisition In Industry 4.0: A Discrete Event Modeling’, in *25th International Congress of Mechanical Engineering*. Uberlândia, MG, Brazil: ABCM.
- Coda, F. A., de Salles, R. M., Junqueira, F., Santos Filho, D. J., Silva, J. R. and Miyagi, P. E. (2018) ‘Big data systems requirements for Industry 4.0’, in *2018 13th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)*, pp. 1230–1236.
- Coda, F. A., Salles, R. M., Vitoi, H. A., Pessoa, M. A. O., Moscato, L. A., Santos Filho, D. J., Junqueira, F. and Miyagi, P. E. (2019a) ‘Big Data on Machine to Machine Integration’s Requirement Analysis Within Industry 4.0’, in *Doctoral Conference on Computing, Electrical and Industrial Systems*, pp. 247–254.
- Coda, F. A., Santos Filho, D. J., Junqueira, F. and Miyagi, P. E. (2020) ‘Big Data Acquisition Architecture: An Industry 4.0 Approach’, in *Doctoral Conference on Computing, Electrical and Industrial Systems*, pp. 222–229.
- Elkoutbi, M. and Keller, R. K. (1998) ‘Modeling interactive systems with hierarchical colored petri nets’, in *Proc. of*.
- Hasegawa, K., Takahashi, K. and Miyagi, P. E. (1988) ‘Application of the Mark Flow Graph to Represent Discrete Event Production Systems and System Control’, *Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers*.
- Junqueira, F. (2006) *Modelagem e simulação distribuída de sistemas produtivos*. Universidade de São Paulo.
- Kagermann, Wahlster, W. and Helbig, J. (2013) *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, Final report of the Industrie 4.0 WG*.
- Lee, J., Ardakani, H. D., Yang, S. and Bagheri, B. (2015) ‘Industrial Big Data Analytics and Cyber-physical Systems for Future Maintenance & Service Innovation’, in *Procedia CIRP*.
- Li, Z., Zhang, J. and Zhao, M. (2007) ‘Liveness-enforcing supervisor design for a class of generalised Petri net models of flexible manufacturing systems’, *IET Control Theory & Applications*. IET, 1(4), pp. 955–967.
- Measurement Computing Corporation (2012) *Data Acquisition Handbook: A Reference For DAQ And Analog & Digital Signal Conditioning, Measurement Computing Corporation (2004-2012)*.
- Melo, J. I. G., Souit, S., Filho, D. J. S., Junqueira, F. and Miyagi, P. E. (2010) ‘A systematic approach to expose manufacturing system as a service’, in *2010 9th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications, INDUSCON 2010*.
- Miyagi, P. E. (1996) *Controle programável: fundamentos do controle de sistemas a eventos discretos*. Editora Blucher.
- Murata, T. (1989) ‘Petri Nets: Properties, Analysis and Applications’, *Proceedings of the IEEE*.
- NBD-PWG (2015) *NIST Big Data Interoperability Framework: Volume 5, Architectures White Paper Survey, NIST Special Publication*. doi: 10.6028/NIST.SP.1500-5.
- Nehrey, M. and Hnot, T. (2019) ‘Data Science Tools Application for Business Processes Modelling in Aviation’, in *Cases on Modern Computer Systems in Aviation*. IGI Global, pp. 176–190.
- Pisching, M. A., Pessoa, M. A. O., Junqueira, F. and Miyagi, P. E. (2018) ‘PFS/PN Technique to Model Industry 4.0 Systems Based on RAMI 4.0’, in *2018 IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, pp. 1153–1156.
- Ratzer, A. V., Wells, L., Lassen, H. M., Laursen, M., Qvortrup, J. F., Stissing, M. S., Westergaard, M., Christensen, S. and Jensen, K. (2003) ‘CPN tools for editing, simulating, and analysing coloured Petri nets’, in *International Conference on Application and Theory of Petri Nets*, pp. 450–462.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P. and Harnisch, M. (2015) *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries, The Boston Consulting Group*. Boston, Massachusetts, EUA.
- Srinivasan, R. and Venkatasubramanian, V. (1998) ‘Automating HAZOP analysis of batch chemical plants: Part II. Algorithms and application’, *Computers and Chemical Engineering*.
- Strohbach, M., Daubert, J., Ravkin, H. and Lischka, M. (2016) ‘Big data storage’, in *New Horizons for a Data-Driven Economy: A Roadmap for Usage and Exploitation of Big Data in Europe*. doi: 10.1007/978-3-319-21569-3_7.
- Zhang, S., Gao, H., Yang, L. and Song, J. (2017) ‘Research on big data governance based on actor-network theory and Petri nets’, in *Proceedings of the 2017 IEEE 21st International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, CSCWD 2017*.