



ARTIGO

MINERAÇÃO DE PROCESSOS APLICADA A PRODUÇÃO E LOGÍSTICA: DESAFIOS PARA A ADOÇÃO DA TÉCNICA PELA INDÚSTRIA

POR

Eduardo Alves Portela Santos, Silvana Pereira Detro, Alexandre Choueri Checoli
portela@ufpr.br, silvana.detro@ufpr.br e alexandrechecoli@ufpr.br

As operações de produção e logística correspondem a um dos domínios mais interessantes para o gerenciamento de processos de negócios. Na área de produção, observa-se a necessidade cada vez maior de diminuição dos tempos de lançamento dos produtos, a otimização de recursos de manufatura e fabricação, diminuição de custos e aumento da qualidade dos produtos. Por sua vez, a logística lida atualmente com requisitos de desempenho extremamente rígidos, com a demanda por entregas ultrarrápidas e pressão por diminuição

de custos. Esse cenário gera uma busca por melhoria de processos de forma contínua nunca antes vista.

Os desenvolvimentos de hardware e software nos últimos anos aumentaram a capacidade de gerar e armazenar informações, levando a um volume massivo de dados brutos no chão de fábrica. Essa disponibilidade de dados tem despertado interesse no desenvolvimento de novas técnicas capazes de extrair deles informações cada vez mais úteis. Nos ambientes de manufatura e logística, isso é refor-

çado pela busca da Indústria 4.0 e pelo conceito *smart supply chain*, em que as máquinas trabalham integradas como uma rede colaborativa e a cadeia de suprimentos é integrada de ponta a ponta em todas as suas operações, fornecendo aos gestores a possibilidade de usar dados on-line para tomar decisões mais precisas [3].

Apesar de sua origem nos processos de negócios, a mineração de processos tem liderado um grande movimento em direção à descoberta de modelos em ambientes de manufatura e logística nos últimos anos. No contexto industrial, a mineração de processos tem sido aplicada como método de avaliação de desempenho, orientando os gestores no ciclo de melhoria da qualidade, na gestão da manutenção, no uso integrado com a metodologia six sigma, dentre outras aplicações. Na logística, as aplicações vão desde a logística portuária até o gerenciamento da cadeia de suprimentos. A Figura 1 apresenta uma visão geral de aplicações em relação à área de operações e em relação ao setor industrial [2,1].

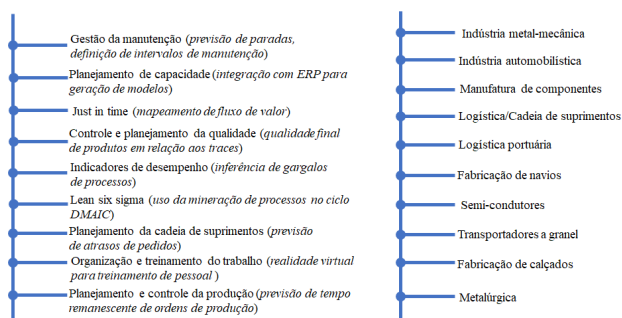


FIG. 01 | APLICAÇÕES DA MINERAÇÃO DE PROCESSOS.

Por ser uma ferramenta tão versátil, a mineração de processos pode ser utili-

zada nas mais diversas formas, uma vez que sua comunidade de pesquisa está sempre adicionando novos recursos às ferramentas de código aberto como, por exemplo, o Process Mining for Python - PM4PY¹.

Desafios

A complexidade dos processos produtivos aumenta constantemente para acompanhar os avanços da tecnologia, tendências de mercado, exigências legislativas e, acima de tudo, produtos de alta qualidade. O aumento da complexidade pode ser devido ao aumento da interação entre diferentes subsistemas, adição de funcionalidades para lidar com variantes de produtos pela estação ou máquina, adição de lógica para garantir a segurança e técnicas de otimização empregadas para melhorar fatores como tempo de processo, consumo de energia, requisitos de qualidade, etc. Enquanto novas técnicas e processos estão sendo pesquisados sob a égide da Indústria 4.0, não é fácil implementar essas técnicas em sistemas existentes ou sistemas legados [5].

Além disso, uma vez que uma linha de produção é posta em operação, espera-se que ela dure vários anos para compensar o investimento e começar a gerar retorno financeiro. Na maioria das vezes, o obstáculo de custos mais altos dificulta a adoção de novas tecnologias, portanto, a lacuna entre as tecnologias existentes no chão de fábrica e as tecnologias recentes disponíveis raramente diminui. Como consequência, o chão de fábrica consiste em uma mistura diversificada

¹ <https://pm4py.fit.fraunhofer.de/>

de tecnologias que vão desde sistemas legados até sistemas de última geração, tornando a manutenção da compatibilidade entre sistemas tecnológicos tão diversos um grande desafio. Especificamente para a aplicação da técnica de mineração de processos, essa mistura diversificada de tecnologias gera uma série de dificuldades: (i) extração do log de eventos em um ambiente heterogêneo, com múltiplos sistemas de informação, impossibilitando a uniformização dos dados; (ii) dificuldade na caracterização do processo 'ponta a ponta', uma vez que parte(s) do processo pode(m) estar sendo suportados por sistemas legados, que por sua vez podem não gerar logs de eventos ou gerar logs inadequados; e (iii) uso limitado dos algoritmos e técnicas da mineração de processos em função da limitação ou mesmo da inexistência de logs em partes do processo.

Uma outra característica do ambiente industrial impõe um outro desafio para a aplicação da mineração de processos: a definição de camadas ou níveis é uma forma bastante comum de organização deste segmento. Modelos clássicos com a 'pirâmide da automação' e documentos mais formais como a norma técnica internacional ISA 95 [4] adotam essa visão. A ISA 95, por exemplo, considera que um ambiente industrial é composto de quatro níveis, sendo o nível 0 correspondente ao sistema de produção real; o nível 1, formado pelos sensores e atuadores do processo (máquinas, equipamentos); o nível 2, composto pelos sistemas de controle e supervisão (hardware e software); o nível 3, caracterizado pelos sistemas de gerenciamento da operação de manufatura (p. ex.,

Manufacturing Execution System – MES); e o nível 4 formado pelos sistemas de planejamento empresarial e de logística (p. ex., Enterprise Resource Planning – ERP).

Esses diferentes níveis trabalham com diferentes horizontes de tempo (p. ex. o nível 4 pode trabalhar com planejamento de produção de meses enquanto os níveis 1 ou 2 podem trabalhar com horizontes de milissegundos). Na perspectiva de processos e da mineração de processos, essa característica impõe diferentes níveis de granularidade. Existem múltiplos processos rodando em diferentes horizontes de tempo. Dessa forma, podemos ter logs de eventos oriundos diretamente de uma máquina de produção, como um centro de usinagem, em que os eventos correspondem a ocorrências no equipamento tais como início e fim de operação, falha, nível de temperatura, quebra de broca, etc. Podemos também ter logs de eventos que consideram dados de tempo de produção de uma determinada célula ou planta, com múltiplas máquinas e equipamentos de produção. O log nesse caso terá dados mais abstratos, como as operações de manufatura (tornear, furar, fresar, entre outros). Podemos seguir para níveis mais acima, em que os logs de eventos podem caracterizar o processo de atendimento de ordens de produção que são realizadas em diversas células de trabalho ou o processo logístico mais amplo, que engloba a produção, estocagem, movimentação e a entrega dos produtos ao cliente.

Outro desafio relevante para a adoção da mineração de processos na indústria é a presença de diferentes sistemas de informação nas diferentes áreas. No caso,

mesmo considerando uma determinada máquina ou centro de trabalho de manufatura, é possível que as diferentes áreas da empresa lidem com conjuntos específicos de dados em diferentes sistemas de informação. Por exemplo, os gestores da manutenção geralmente lidam com eventos oriundos da máquina, chegando até o nível de componente (p. ex. nível de temperatura da ferramenta de corte, corrente no motor, etc.). Já os gestores da produção estão interessados em dados mais relacionados ao estado da máquina que caracterizam sua disponibilidade e desempenho para operar (p. ex. início e fim de operação, desligamento por falta de matéria prima, setup, parada para limpeza, entre outros).

Então, para atender às necessidades apresentadas, cada área tem os seus próprios recursos de informação. Esse aspecto acarreta uma dificuldade na observação e na análise do processo como um todo. Por exemplo, caso se queira analisar uma determinada etapa de um processo de manufatura, englobando simultaneamente eventos da máquina e de produção, certamente haverá muitas dificuldades para tal iniciativa em função das múltiplas fontes de dados. Apesar dos imensos desafios e obstáculos descritos, a área de operações e logísticas pode se beneficiar de forma extraordinária a partir do uso da mineração de processos.

Referências:

1. CORALLO, A.; LAZOI, M.; STRIANI, F. Process mining and industrial applications: A systematic literature review. *Knowledge and Process Management*, 27, 3, p. 225-233, 2020.
2. DOS SANTOS GARCIA, C.; MEINCHEIN, A.; FARIA JR., E. R.; DALAGASSA, M. R.; SATO, D. M. V.; CARVALHO, D. R.; SANTOS, E. A. P.; SCALABRIN, E. E. Process mining techniques and applications – A systematic mapping study. *Expert Systems with Applications*, v. 133, p. 260-295, 2019.
3. GARAY-RONDERO, C.L., MARTINEZ-FLORES, J.L., SMITH, N.R., MORALES, S.O.C., Aldrette-Malacara, A., 2020. Digital supply chain model in industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*. v. 31, n. 5, p. 887-933, 2020.
4. INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION. ANSI/ISA-95.00.03-2005 Enterprise-Control System Integration. Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management, 2005.
5. RINDERLE-MA, S.; MANGLER, J. Process Automation and Process Mining in Manufacturing. In: Polyvyanyy, A., Wynn, M.T., Van Looy, A., Reichert, M. (eds) *Business Process Management, BPM 2021*, Lecture Notes in Computer Science, vol 12875. Springer, Cham, 2021.



EDUARDO ALVES PORTELA SANTOS é Professor Adjunto na Universidade Federal do Paraná. Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina. Atua em gestão de processos de negócio e mineração de processos. Foi pesquisador visitante, trabalhando com mineração de processos, na Eindhoven University of Technology, nos Países Baixos.



SILVANA PEREIRA DETRO é Professora Adjunta na Universidade Federal do Paraná. Doutora em Engenharia de Produção pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná e Doutora em Automatique, Traitement du Signal et des Images, Génie Informatique pela Université de Lorraine (França). Atua em gestão de processos de negócio e mineração de processos.



ALEXANDRE CHOUZEIRI CHECOLI é Professor Adjunto na Universidade Federal do Paraná. Doutor em Engenharia de Produção pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Atua em mineração de processos, otimização combinatório, heurísticas e meta-heurísticas.