



DOI: 10.5335/rbca.v13i2.12065

Vol. 13, $N^{\underline{o}}$ 2, pp. 73–82

Homepage: seer.upf.br/index.php/rbca/index

ARTIGO ORIGINAL

Event logs gerados da simulação de diferentes cenários e analisados com mineração de processos

Event logs generated from simulation of different scenarios and analysed with process mining

Felipe Nedopetalski ^{[D,1} and Joslaine Cristina Jeske de Freitas ^{[D,1}

¹Universidade Federal de Jataí

*felipenedopetalski@discente.ufg.br; joslaine@ufg.br

Recebido: 29/11/2020. Revisado: 31/05/2021. Aceito: 05/07/2021.

Resumo

A cada dia uma quantidade enorme de dados é gerada de sistemas gerenciados por informações. Geralmente esta informação é armazenada em banco de dados ou *event logs*. Mineração de processos pode utilizar esta informação para prover conhecimento útil para empresas. O objetivo deste trabalho é produzir *event logs* de diferentes cenários de simulação e analisá-los utilizando mineração de processos. Estes cenários tentam simular atividades cotidianas em um ambiente de escritório. Um exemplo é o cenário de recurso *fuzzy* que tenta simular a incerteza inerente em atividades realizadas por humanos. Para alcançar este objetivo algumas ferramentas *open-source* foram utilizadas. CPN Tools foi utilizada para construir e simular a Workflow net baseada na rede "*Handle Complaint Process*" e gerar os *event logs* durante as simulações. ProM foi utilizado para aplicar os algoritmos de *process discovery* e *conformance checking* nos *event logs* gerados. O algoritmo utilizado foi o *Inductive Visual Miner*. A comparação entre os cenários mostrou uma diferença significativa entre os tempos de execução devido ao propósito de cada cenário. Com este tipo de simulação de cenários, donos de negócios podem realizar simulações de possíveis cenários de sua empresa e estimar melhores *deadlines* para seus clientes.

Palavras-Chave: Comparação; Cotidiano; Simulação.

Abstract

Each day an uncountable amount of data is generated from data driven systems. Generally this data is stored in databases or in event logs. Process mining can utilize this data and provide useful insights to business. The underlying goal of this paper is to produce event logs from simulation of different scenarios and analyse it using process mining. These scenarios try to simulate real-life situations in an office environment. An example is the fuzzy resource scenario that tries to simulate the uncertainty inherent in human activities. To achieve this goal some open-source tools were used. CPN Tools was used to build and simulate the Workflow net based on the "Handle Complaint Process" and generate event logs during simulation. ProM was used to apply process discovery and conformance checking algorithms in the event logs generated. The algorithm used in ProM was the Inductive Visual Miner. The comparison between scenarios shows a significant difference between the execution time of each simulation due the purpose of each scenario. With this type of simulation between scenarios, business owners can make simulations of possible scenarios of their business to estimate better deadlines for their clients.

Keywords: Comparison; Real-life; Simulation.

1 Introdução

Workflow ou fluxo de trabalho pode ser definido como qualquer conjunto de atividades executadas de forma coordenada por dois ou mais membros de uma mesma equipe, visando um objetivo em comum (Van Der Aalst and Van Hee, 2004). O conceito de Workflow está intimamente relacionado à reengenharia e automação de negócios e de processos de informação em uma organização (Georgakopoulos et al., 1995). A necessidade de ter escritórios mais eficientes resultou na criação de um conceito de Reengenharia de Processo de Negócio e na tecnologia chamada de Sistemas de Gerenciamento de Workflow (SGWs) (Boszormenyi et al., 1999, Georgakopoulos et al., 1995).

SGWs são pacotes de software genéricos para gerenciamento de processos de negócio (Van Der Aalst and Van Hee, 2004, Eshuis, 2002, Alonso et al., 1997, Hollingsworth and Hampshire, 1995). Estes sistemas surgiram como uma solução capaz de melhorar a eficiência e a gestão dos processos organizacionais, pois é possível realizar uma automação procedimental do gerenciamento de processos de negócios assim como ter controle sobre os mecanismos de alocação de recursos apropriados associados com as diversas atividades. Os SGWs permitem o gerenciamento das atividades fazendo com que as informações necessárias cheguem à pessoa correta no momento certo.

Para realizar a modelagem dos processos de negócio, várias linguagens podem ser utilizadas, como, por exemplo, BPMN (Business Process Model and Notation), OMG (2011a), YAWL (Yet Another Workflow Language) (Ter Hofstede et al., 2009), redes de Petri (Murata, 1989) e Diagramas de Atividade UML (Unified Modeling Language) (OMG, 2011b). Apesar de que ambiguidades e confusões não podem ser prevenidas em um modelo de processo de negócio informal, pois necessitam de uma semântica formal (Van Der Aalst and Van Hee, 2004), modelos como as redes de Petri podem auxiliar na solução deste problema, pois possuem o formalismo matemático que permite a implementação de importantes métodos de análises além de ser uma ferramenta de fácil aprendizado e permite a descrição dos aspectos estáticos e dinâmicos do sistema a ser representado (Murata, 1989).

Modelagens de processos de negócio feitas utilizando redes de Petri foram definidas por Van Der Aalst (1997) e são chamadas de Workflow nets. A Workflow net tem um único início e um único fim. As atividades que estão entre o início e o fim podem ser executadas no decorrer do processo. Utiliza-se fichas para demarcar o lugar do processo que está sendo executado no momento (Van Der Aalst, 1998). São vários os trabalhos realizados utilizando este tipo de modelo formal e específico para a modelagem de processos de negócio. Alguns são: (Ter Hofstede et al., 2009, Liu et al., 2014, Passos and Julia, 2015, Gharib and Giorgini, 2015, Freitas et al., 2015, Freitas, 2017).

As Redes de Petri Fuzzy, uma combinação da teoria dos conjuntos nebulosos (Zadeh, 1965) com a teoria das redes de Petri (Murata, 1989), são uma ferramenta para representação do conhecimento incerto sobre um estado de um sistema e derivam das redes de Petri convencionais. A partir do trabalho de Looney (1988), diversos autores, tanto da comunidade das redes de Petri quanto de Inteligência Artificial, têm proposto diferentes tipos de redes de Petri

Fuzzy, por exemplo: (de Rezende and Julia, 2015, de Rezende et al., 2014, Cardoso, 1999, Murata, 1996, Cardoso et al., 1989).

Como mostrado em Wickens (1992) e comprovado por Nakatumba and Van Der Aalst (2009), a quantidade de estresse colocado sobre os funcionários durante o tempo de serviço é determinante para a eficiência do trabalho realizado. O trabalho feito por Freitas (2017) mostrou uma diferente forma de controlar os recursos e o tempo utilizando Workflow nets e a teoria fuzzy. Com isto é possível gerar incerteza para representar o comportamento humano presente nas atividades empresariais e assim melhores escolhas podem ser feitas para atingir uma melhor performance.

Enquanto as atividades são executadas nos SGWs, uma grande quantidade de event logs, que são registros das atividades que ocorrem de modo sequencial durante a execução de processos empresariais, são gerados, sendo gravados no sistema e geralmente não são utilizados.

Mineração de processos (process mining) é uma abordagem eficiente para a extração de informações relacionadas aos processos considerando as relações entre os eventos (Van Der Aalst, 2011, Song et al., 2016, Weber et al., 2012). São utilizados tanto event logs quanto Workflow nets para extrair informações relacionadas aos processos.

Geralmente são utilizadas três técnicas de mineração de processos: process discovery, conformance checking e process enhancement (Van Der Aalst, 2011, Van der Aalst et al., 2004, Weidlich et al., 2011, Rozinat and Van Der Aalst, 2008). Process discovery pode construir um modelo do processo extraindo os principais passos realizados contidos no event log do processo. Conformance checking examina a consistência entre o processo existente e o que está no event log. Process enhancement serve para melhorar ou estender o modelo do processo de acordo com o event log.

Uma variedade ferramentas open-source e pagas podem ser utilizadas para realizar a mineração de processos como ProM (2020), PM4PY (2020), Celonis (2020), Minit (2020) e myInvenio (2020).

Uma das ferramentas que será utilizada neste trabalho é denominada *ProM* (2020). Esta ferramenta é um framework que suporta uma grande variedade de plug-ins para mineração de processos. Seu código é aberto e não necessita realizar nenhum tipo de pagamento para utilizá-

Outra ferramenta necessária para este trabalho, de código aberto e sem necessidade de realizar pagamentos para utilizá-la é o CPN Tools (2020). Esta ferramenta pode ser utilizada para criação, simulação e análise de redes de Petri e redes de Petri coloridas. Ela tem grande importância em suas aplicações práticas que são a modelagem e análise de redes de Petri convencionais e coloridas, já que são atividades que dependem fortemente da existência de ferramentas computacionais para serem executadas (Jensen et al., 2007).

A simulação de workflows se torna uma peça fundamental para testar e avaliar o comportamento de uma rede, como mostrado em Georgakopoulos et al. (1995) e em Ratzer et al. (2003). A mineração de processos tem se tornado cada vez mais útil para o futuro das Workflow nets (Van Der Aalst, 2011, Weber et al., 2012, Song et al., 2016). Como mostrado em Van Der Aalst (2018), simulação e mineração

de processos se complementam muito bem. A mineração de processos pode ser usada para a construção de melhores modelos de simulação e para a comparação dos resultados da simulação com o atual comportamento da rede. Já a simulação pode ser usada para fazer a mineração de processos com um olhar voltado para diferentes mudanças dos processos atuais.

Com isso, o principal objetivo deste trabalho é gerar event logs de Workflow net fuzzy utilizando o método mostrado em De Medeiros and Günther (2005) em diferentes cenários do modelo apresentado em Freitas (2017), comparar os resultados utilizando técnicas como process discovery e conformance checking. Como a Workflow net utilizada neste trabalho é um exemplo, a técnica de process enhancement não será utilizada devido ao fato de que nenhuma mudança no fluxo da rede deve ser efetuado.

Referencial teórico

Mineração de Processos

O principal objetivo da mineração de processos é utilizar eventos já executados para extrair informações relacionadas ao processo. A partir de event logs, diferentes formas de representar o processo podem ser geradas para demonstrar o comportamento registrado (Van Der Aalst et al., 2003, Van Der Aalst, 2016).

O universo físico e digital estão ficando cada vez mais alinhados. Os sistemas de informação dos dias atuais registram inúmeras quantidades de event logs. Sistemas de gerenciamento de Workflow (SGW), sistemas de gerenciamento de processos de negócios (BPM), sistemas ERP, sistemas PDM, sistemas CRM, middlewares e sistemas de informações de hospitais fornecem informações detalhadas sobre as atividades que estão sendo executadas. Apesar de existir vários softwares que registram informações sobre os processos executados, estas informações são armazenadas de maneira desestruturada, por exemplo, informações de eventos que são espalhadas por várias tabelas ou necessitam ser retiradas de subsistemas de troca de mensagens. Nestes casos, as informações sobre os eventos existem, porém é necessário realizar um esforço para extraí-las (Van Der Aalst, 2016).

Event logs podem ser utilizados para conduzir três tipos de mineração de processos (Van Der Aalst, 2016). O primeiro tipo de mineração de processos é discovery. Uma técnica de dicovery utiliza um event log e produz um modelo sem utilizar nenhuma informação a priori. Um exemplo desta técnica pode ser vista no α -algorithm (Van der Aalst et al., 2004). Este algoritmo utiliza um event log e produz uma rede de Petri representando o comportamento registrado no log.

O segundo tipo de mineração de processos é conformance. Neste caso, um modelo de processo existente é comparado com um event log do mesmo processo. Conformance checking pode ser utilizada para verificar se realmente, como registrado no log, o modelo representa o que está registrado e vice-versa. Por exemplo, se houver um processo indicando que uma ordem de compra de mais de um milhão de Euros necessita de duas aprovações. A análise do event log irá mostrar se esta regra é seguida ou

não. Além disso, conformance checking pode ser utilizada para detectar, localizar e explicar desvios, e para medir a gravidade desses desvios. Um exemplo de um algoritmo para conformance checking é descrito em Rozinat and Van Der Aalst (2008).

O terceiro tipo de mineração de processos é enhancement. A ideia desta técnica é estender ou melhorar um processo existente utilizando informações sobre o processo atual registrado em um event log. Enquanto conformance checking mede o alinhamento entre o modelo e a realidade, esta técnica modifica ou estende o modelo a priori. Um tipo de enhancement é o reparo. Um exemplo desta técnica é modificar o modelo para melhor refletir a realidade. Se duas atividades são modeladas sequencialmente, porém na realidade elas ocorrem em qualquer ordem, então o modelo pode ser corrigido para refletir isto. Outro tipo de enhancement é a extensão. Por exemplo, adicionar uma nova perspectiva para o modelo por meio de correlação cruzada com o log. Um exemplo é a extensão de um modelo de processo para o melhor desempenho da informação. Por exemplo, ao utilizar de timestamps nos event logs, é possível mostrar gargalos, níveis de serviço, tempos de taxa de transferência e frequências. O mesmo pode ser feito para recursos, regras de decisão, métricas de qualidade, etc.

A mineração de processos pode ser vista em diferentes perspectivas (Van Der Aalst, 2016):

- a) Perspectiva de controle de fluxo O principal objetivo da perspectiva de controle de fluxo é encontrar uma boa caracterização de todos os possíveis caminhos exemplificando ao utilizar redes de Petri ou BPMN, etc, e pode ser muito útil para, por exemplo, organizar atividades;
- b) Perspectiva organizacional O objetivo da perspectiva organizacional é tanto estruturar a organização classificando as pessoas por suas funções e departamentos quanto mostrar a rede social que é gerada no local, e.g., encontrar informações sobre os recursos escondidas no
- c) *Perspectiva de caso* Um caso por ser caracterizado pelo seu trajeto no processo ou pelo trabalho que o originou. No entanto, casos podem ser caracterizados também pelos valores correspondentes das informações dos elementos. Por exemplo, em um caso de reabastecimento, talvez seja interessante saber o fornecedor ou a quantidade de produtos pedidos.
- d) Perspectiva de tempo A perspectiva de tempo se preocupa com o tempo e a frequência dos eventos. Quando eventos contêm timestamps, é possível descobrir gargalos, mensurar os níveis de serviço, monitorar a utilização de recursos e prever a quantidade de tempo que será gasta nos casos futuros. Somente a perspectiva de Tempo será utilizada neste trabalho.

Apesar de que a mineração de processos aparenta ser uma atividade totalmente feita off-line, cada vez mais técnicas de mineração de processos estão surgindo para serem utilizadas durante a execução do processo de forma online. Isso é referenciado como suporte operacional. Um exemplo é detectar uma não-conformidade no momento em que o desvio de comportamento acontece. Outro exemplo é prever a quantidade de tempo gasta para terminar os processos subsequentes por meio de casos que já foram parcialmente executados e baseado nas informações

históricas de situações similares. A mineração de processos não é relevante apenas para as fases de design e de diagnóstico/requisitos, mas também para as fases de sanção/monitoramento e de ajustes (Van Der Aalst, 2016).

Event logs podem ser utilizados como forma de entrada para mineração de processos. Os principais atributos de um event log são o Case ID, Timestamp e a Atividade. Sem este três atributos é praticamente impossível realizar mineração de processos. Outros atributos podem aumentar a quantidade de detalhes e possiblidades durante a análise.

XES (eXtensible Event Stream) (XES Standard Definition, 2009) é o tipo padrão de arquivo utilizado na mineração de processos. Em 2003 MXML (Mining eXtensible Markup Language) foi criada e adotada até se transformar em XES. Neste trabalho, arquivos do tipo MXML serão gerados para realizar a mineração de processos utilizando o método descrito em De Medeiros and Günther (2005).

2.2 Workflow net

Workflow net é uma rede de Petri que modela um processo de Workflow (Van Der Aalst and Van Hee, 2004). Para Van Der Aalst (1998), uma Workflow net satisfaz as seguintes propriedades:

- Tem somente um local de origem e um local final. O local de origem é chamado de Start e o local final é chamado End. Estes dois locais são especiais. O local Start tem apenas arcos de saída, enquanto o local End tem apenas arcos de chegada.
- Um token no local Start significa que o caso necessita ser resolvido. O token no local End significa que o caso já foi resolvido.
- Toda tarefa t (transição) ou condição p (local) deve estar entre o local Start e o local End.

Fig. 1 ilustra o processo Workflow utilizado como base para este trabalho, que lida com reclamações relacionadas a danos em carros (Van Der Aalst and Van Hee, 2004). Atividades com o sinal \u03c4 podem ser interpretados como sendo feitas por humanos, enquanto as outras são realizadas por máquinas/sistemas. Todos os cenários são baseados nesta Workflow net.

2.3 Conjunto Fuzzy

Em Zadeh (1965) foi introduzido a noção de conjunto fuzzy para representar a natureza gradual do conhecimento humano. Pode ser formalizado como um conjunto F de um conjunto de referência X que pode ser definido pela função $\mu F(x) \in [0,1]$. Para um dado elemento $x \in X$, $\mu F(x) = 0$ significa que x não é um membro do conjunto F. Se $\mu F(x) = 1$, significa que x é um membro do conjunto F. Um valor intermediário significa que x é mais ou menos um elemento de F. Normalmente, um conjunto fuzzy é representado por um trapezóide A = [a1, a2, a3, a4].

A distribuição da possibilidade Πa , pode ser utilizada como um delimitador para um conjunto *fuzzy F*, tal que: $\forall x \in X$, $\Pi a(x) = \mu F(x)$ (Cardoso, 1999, Dubois and Prade, 2012). Dada a possilidade de distribuição $\Pi a(x)$, calcular a necessidade N(S) e a possibilidade $\Pi(S)$ que um dado a que pertence a um conjunto S de X é definido por $\Pi(S) = \sup_X \in$

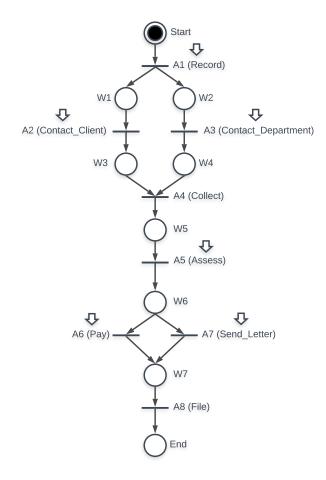


Figura 1: "Handle Complaint Process" usado como base para este trabalho.

 $S\Pi_a(x) \in N(S) = \text{em } f_x \notin S(1 - \Pi_a(s)) = 1 - \Pi(S). \text{ Se } \Pi(S) = 1,$ é possível que a pertence a S. Se $\Pi(S) = 0$, é impossível que a pertença a S. Isto também depende do valor de N(S). Se N(S) = 1, é certo que a pertence a S, caso contrário, não.

Trabalhos Relacionados

Alguns trabalhos publicados recentemente estão de acordo com este artigo. Sitova and Pecerska (2019) exploraram a aplicabilidade de técnicas de mineração de processos para validação e verificação de modelos e análises de resultados de simulações com eventos discretos. Event logs foram gerados neste trabalho para investigar o comportamento do modelo e com isso, uma nova forma de decidir como adequar os modelos usando simulação pode ser feito.

Augusto et al. (2016) realizaram uma análise de rotas clínicas usando event logs para obter insights sobre os processos do hospital e propuseram uma nova metodologia para simular e analisar as rotas feitas por pacientes de forma automática. Com este trabalho, foi mostrado novas formas de extrair conhecimento de bases de dados de hospitais por meio de simulação, permitindo designs e testes com novos cenários.

Martin et al. (2016) utilizam mineração de processos para suporte na construção de simulações de modelos de processo de negócio. Os autores concluíram que mesmo com uma quantidade escassa de publicações sobre o tema abordado, o algoritmo utilizado para mineração de processos foi diretamente aplicado no contexto de simulação de processo de negócio.

Em Di Ciccio et al. (2015) uma abordagem para geração automática de event logs usando modelos baseados na linguagem de modelagem Declare foi apresentada. Di Ciccio et al. (2015) propuseram um framework para gerar estes event logs e os resultados foram que o framework era eficiente em gerar os *event logs* e para replicar também.

Van Der Aalst (2018) estabeleceu uma conexão entre simulação em mineração de processos. Neste trabalho foram apresentadas as razões para essas conexões. Mineração de processos tende a olhar para algo que já aconteceu, enquanto simulação pode realizar incontáveis hipóteses e possíveis cenários para antecipar problemas futuros.

Van Der Aalst (2015) mostrou que com simulação é possível experimentar e responder incontáveis perguntas do tipo "E se...". Além disso, é possível comparar designs alternativos respeitando os principais fatores de performance. Neste trabalho, a simulação foi introduzida como uma ferramenta para análise de modelos de processo de negócio. Apesar de que a simulação tradicional é baseada em modelos feitos manualmente, o autor defende o uso de técnicas de mineração de processo para criar modelos mais confiáveis baseados em eventos reais.

Freitas (2017) propôs uma nova forma de gerenciar recursos e tempo usando o modelo "Handle complaint Process". Com os resultados obtidos, será possível prever como os sistemas irão se comportar e deste modo, escalar o sistema baseado em alguma ferramenta de modelagem que se aproximam ao ambiente encontrado em escritórios.

Implementação do modelo e variações

O modelo utilizado neste trabalho é baseado na Workflow net "Handle complaint Process" e é representado pela Fig. 1, proposta por Van Der Aalst and Van Hee (2004), implementada e simulada utilizando a ferramenta CPN Tools (2020). A Fig. 2 representa a implementação desta Workflow net no CPN Tools com a geração de logs. As Figs. 3 a 5 representam as atividades A3, A4 e A7 executadas na Workflow net.

Este modelo consiste em duas atividades paralelas (A2 e A3) e duas atividades concorrentes (A6 e A7). Além disso, para cada atividade o tempo inicial e final de execução foram capturados utilizando o método proposto por De Medeiros and Günther (2005).

No total, cinco cenários foram simulados:

- · Recursos e tempo discretos representando como as máquinas funcionam;
- Recurso fuzzy representando a incerteza presente nas atividades realizadas por humanos;
- Recurso e tempo fuzzy representando a incerteza contida nas atividades realizadas por humanos e no tempo;
- Recurso fuzzy e tempo fuzzy antecipado representando a incerteza presente nas atividades realizadas por humano com o tempo antecipado;

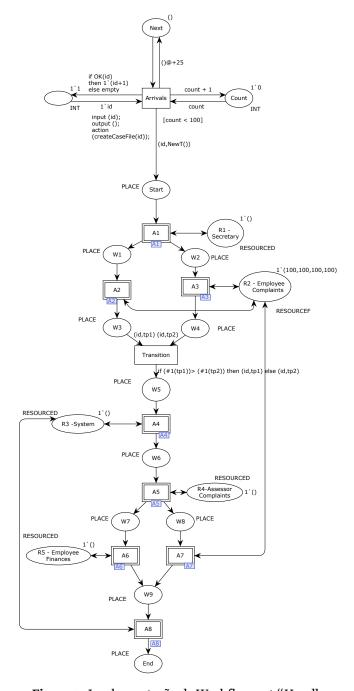


Figura 2: Implementação da Workflow net "Handle Complaint Process" no CPN Tools.

Recurso fuzzy e tempo fuzzy atrasado - representando a incerteza presente nas atividades realizadas por humanos com o tempo atrasado;

Para cada cenário, 10 simulações foram realizadas para fins estatísticos.

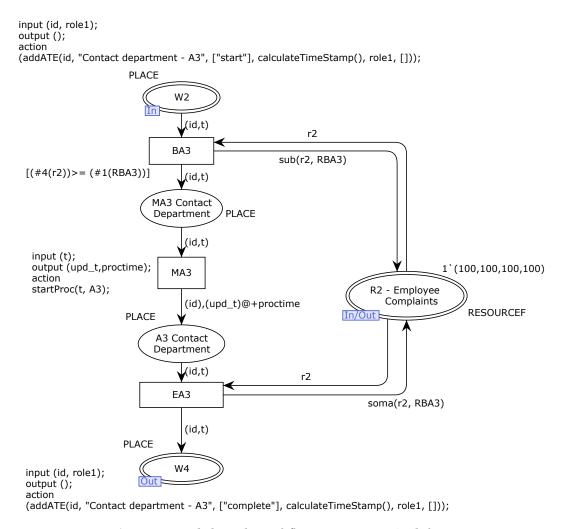


Figura 3: Atividade A3 da Workflow net com geração de logs.

5 Resultados

Os resultados de todos os cenários realizados estão apresentados na Tabela 1.

Para todos os cenários, as colunas Max, Min, Média e Desvio padrão são timestamps. A coluna Atividades Começo/-Fim representa quantas atividades começaram o processo e quantas atividades A6 e A7 juntas foram completadas. O símbolo "-" representa o intervalo entre o maior e o menor valor de atividades completadas.

A simulação *Discreta* teve o maior tempo no total, com mais de 8 dias de duração. Isso se deve ao tipo de recurso utilizado. O recurso discreto permite realizar apenas uma atividade por vez. Isso faz com que algumas atividades tenham que esperar para serem realizadas, causando um aumento na duração do processo. *Recurso fuzzy* teve a melhor performance comparada com as outras simulações, porém ela não representa a incerteza completa presente em um trabalho na vida real. Isso se deve ao fato de que com a utilização de recurso *fuzzy*, é permitido realizar mais de uma tarefa ao mesmo tempo, caso ainda haja recurso disponível. Este mesmo tipo de comportamento se aplica para os demais cenários *fuzzy*. *Recurso e tempo fuzzy* re-

presenta esta incerteza presente em trabalhos praticados na vida real, porém foi a simulação Recurso fuzzy e tempo fuzzy antecipado que obteve a melhor performance de todas. Ela representa a incerteza da vida real e completou mais da metade das atividades no melhor caso. O maior tempo gasto neste cenário foi menor do que 7 horas enquanto o seu melhor caso foi de aproximadamente 4 horas, estando próxima dos cenários Recurso fuzzy e Recurso e tempo fuzzy. Isso aconteceu porque éra possível iniciar a atividade do processo antes dela ser disparada, fazendo com que o tempo total gasto no processo se tornasse menor. A simulação Recurso fuzzy e tempo fuzzy atrasado teve a pior performance de todas completando 5 atividades ao final do processo no melhor caso. Neste caso, a atividade poderia começar em um tempo atrasado e isto fez com que mais tempo fosse gasto para terminar as atividades do processo.

Similar ao que Freitas (2017) concluiu em seu trabalho, a comparação entre estes cenários mostrou que a simulação Recurso fuzzy e tempo fuzzy antecipado teve a melhor performance comparada as outras devido sua capacidade de simular o comportamento humano assim como a incerteza presente no tempo.

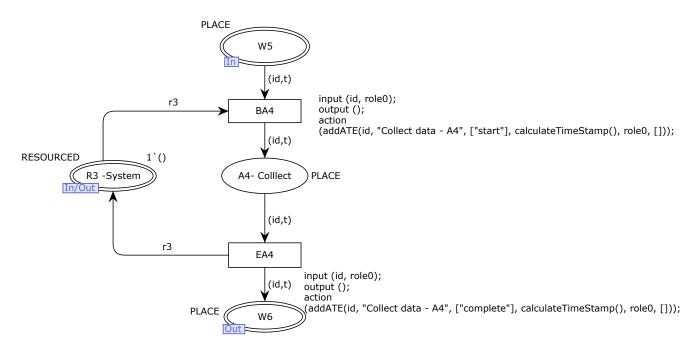


Figura 4: Atividade A4 da Workflow net com geração de logs.

m 1 1 n	1. 1 1	1.6	, .	1 . 1	. ~	. • 1 • 1		~ 1
'l'ahela 1º Rec	uiltados dos	diterentes	cenarios	de cimii	しょくさい し	itilizando	minera	cão de processos.
Tabcia I. Nos	uitauos uos	uncicitics	CCHAHOS	uc siiiiu	iacao t	ıııızanıdo	mmuta	cao ac processos.

	Max	Min	Média	Desvio padrão	Atividades
					Começo/Fim
Discreto	8 dias, 6:47:05.788	7 dias, 20:18:29.40	8 dias, 0:22:28.77680	1:54:28.955840	100/100
Recurso fuzzy	4:10:11.329000	3:54:30.639000	4:00:06.27850	0:03:09.912798	100/100
Recurso e tempo fuzzy	4:47:56.303000	3:34:07.180000	4:17:40.51290	0:12:50.228443	100/15-25
Recurso fuzzy e	6:45:47.353000	4:19:27.696000	5:18:13.28160	0:03:32.879093	100/16-56
tempo fuzzy antecipado					
Recurso fuzzy e tempo fuzzy atrasado	04:49:12	01:46:48.00000	3:20:57.80000	0:22:05.753286	100/0-5

Conclusão

A mineração de processos é uma ferramenta muito poderosa para analisar diferentes cenários de simulações. Quatro dos cinco cenários analisados tentam simular o comportamento humano e três dos cinco cenários tentam simular, além da incerteza do comportamento humano, a incerteza do tempo. Resultados sólidos foram obtidos utilizando a mineração de processos como mostrado na Tabela 1.

Apesar de que nem todas as atividades foram completadas, exceto nos cenários Discreto e Recurso fuzzy, os outros três cenários representaram de forma melhor a incerteza inerente do comportamento humano assim como a incerteza do tempo. Com este tipo de simulação usando diferentes cenários, donos de negócios podem gerenciar de maneira melhor a quantidade máxima de tempo utilizada tanto para seus funcionários quanto para seus fornecedo-

Como trabalho futuro, implementar tempo e recurso fuzzy em uma Workflow net real, simular diferentes cenários e utilizar a mineração de processos para analisar os resultados pode gerar grandes resultados para a industria e para as áreas de pesquisa de BPM/Mineração de processos. Outra possibilidade como trabalho futuro é utilizar Membership Functions fracionários para representar a incerteza de tempo e disponibilidade de recursos. Em Mazandarani and Li (2020) os autores apresentaram esta abordagem. Essas Membership Functions não só podem modelar a incerteza, mas também podem controlar a quantidade de informação incluída para acessar funções de controle. Com estas abordagens e utilizando mineração de processos juntamente com simulação, inúmeros cenários podem ser feitos para alcançar a excelência dos processos.

Referências

Alonso, G., Agrawal, D., El Abbadi, A. and Mohan, C. (1997). Functionality and limitations of current workflow management systems, IEEE expert 12(5): 105-111. Disponível em https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/ download?doi=10.1.1.59.1211&rep=rep1&type=pdf.

Augusto, V., Xie, X., Prodel, M., Jouaneton, B. and Lamarsalle, L. (2016). Evaluation of discovered clinical pathways using process mining and joint agent-based discrete-event simulation, 2016 Winter Simulation Conference (WSC), IEEE, Washington, D.C., pp. 2135–2146. https://doi.org/10.1109/WSC.2016.7822256.

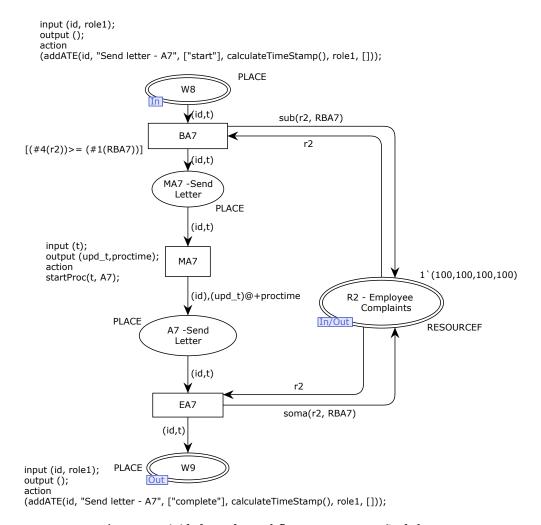


Figura 5: Atividade A7 da Workflow net com geração de logs.

Boszormenyi, L., Eisner, R. and Groiss, H. (1999). Adding distribution to a workflow management system, *Proce*edings. Tenth International Workshop on Database and Expert Systems Applications. DEXA 99, IEEE, Florence, Italy, pp. 17-21. https://doi.org/10.1109/DEXA.1999.795118.

Cardoso, J. (1999). Time fuzzy Petri nets, Cardoso, Janette (ed.) et al., Fuzziness in Petri nets. Heidelberg: Physica-Verlag. Stud. Fuzziness Soft Comput. 22, 115-145 (1999).

Cardoso, J., Valette, R. and Dubois, D. (1989). Petri nets with uncertain markings, International Conference on Application and Theory of Petri Nets, Springer, Bonn, Germany, pp. 64-78. https://doi.org/10.1007/ 3-540-53863-1_21.

Celonis (2020). Disponível em https://www.celonis.com/.

CPN Tools (2020). Disponível em http://cpntools.org/.

De Medeiros, A. A. and Günther, C. W. (2005). Process mining: Using cpn tools to create test logs for mining algorithms, Proceedings of the sixth workshop on the practical use of coloured Petri nets and CPN tools (CPN 2005), Vol. 576, University of Aarhus, Aarhus, Denmark.

de Rezende, L. P. and Julia, S. (2015). Deadlock avoidance in interorganizational business processes using a possibilistic workflow net, ICEIS 2015 - Proceedings of the 17th International Conference on Enterprise Information Systems, Volume 1, Barcelona, Spain, 27-30 April, 2015, Springer, pp. 429-439. https://doi.org/10.5220/ 0005347004290439.

de Rezende, L. P., Julia, S. and Cardoso, J. (2014). Possibilistic interorganizational workflow net for the recovery problem concerning communication failures, ICEIS 2014 - Proceedings of the 16th International Conference on Enterprise Information Systems, Volume 1, Lisbon, Portugal, 27-30 April, 2014, Springer, pp. 432-439. https://doi.org/10.5220/0004863204320439.

Di Ciccio, C., Bernardi, M. L., Cimitile, M. and Maggi, F. M. (2015). Generating event logs through the simulation of declare models, Workshop on Enterprise and Organizational Modeling and Simulation, Springer, Stockholm, Sweden, pp. 20-36. https://doi.org/10. 1007/978-3-319-24626-0_2.

Dubois, D. and Prade, H. (2012). Possibility theory: an approach to computerized processing of uncertainty, Sprin-

- ger Science & Business Media, Plenum Press, New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-5287-7.
- Eshuis, H. (2002). Semantics and verification of UML activity diagrams for workflow modelling, Universiteit Twente. CTIT Ph.D.-thesis series No. 02-44. Disponível em https://research.utwente.nl/files/6029238/eshuis.pdf.
- Freitas, J. C. J. d. (2017). Modelagem e simulação de sistemas de gerenciamento de processos de negócios baseadas em workflow net temporais com mecanismos de alocação de recursos híbridos fuzzy.
- Freitas, J. C. J. d., Julia, S. and Rezende, L. (2015). Fuzzy resource allocation mechanisms in workflow nets, Vol. 1, Springer, Barcelona, Spain, pp. 471–478. https://doi.org/10.5220/0005365304710478.
- Georgakopoulos, D., Hornick, M. and Sheth, A. (1995). An overview of workflow management: From process modeling to workflow automation infrastructure, *Distributed and parallel Databases* **3**(2): 119–153. https://doi.org/10.1007/BF01277643.
- Gharib, M. and Giorgini, P. (2015). Modeling and reasoning about information quality requirements in business processes, *Enterprise, Business-Process and Information Systems Modeling*, Springer, Stockholm, Sweden, pp. 231–245. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19237-6_15.
- Hollingsworth, D. and Hampshire, U. (1995). Workflow management coalition: The workflow reference model, *Document Number TC00-1003* **19**: 16.
- Jensen, K., Kristensen, L. M. and Wells, L. (2007). Coloured petri nets and cpn tools for modelling and validation of concurrent systems, *International Journal on Software Tools for Technology Transfer* 9(3-4): 213-254. https://doi.org/10.1007/s10009-007-0038-x.
- Liu, C., Zeng, Q., Duan, H. and Lu, F. (2014). Petri net based behavior description of cross-organization workflow with synchronous interaction pattern, *International Workshop on Process-Aware Systems*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 1–10. https://doi.org/10.1007/978-3-662-46170-9_1.
- Looney, C. G. (1988). Fuzzy petri nets for rule-based decisionmaking, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.* **18**(1): 178–183. https://doi.org/10.1109/21.87067.
- Martin, N., Depaire, B. and Caris, A. (2016). The use of process mining in business process simulation model construction, *Business & Information Systems Engineering* **58**(1): 73–87. https://doi.org/10.1007/s12599-015-0410-4.
- Mazandarani, M. and Li, X. (2020). Fractional fuzzy inference system: The new generation of fuzzy inference systems, *IEEE Access* 8: 126066–126082. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3008064.
- Minit (2020). Disponível em https://www.minit.io/.
- Murata, T. (1989). Petri Nets: Properties, Analysis and Applications, *Proceedings of the IEEE* **77**(4): 541–580. https://doi.org/10.1109/5.24143.

- Murata, T. (1996). Temporal uncertainty and fuzzy-timing high-level petri nets, *Application and Theory of Petri Nets*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 11–28. https://doi.org/10.1007/3-540-61363-3_2.
- myInvenio (2020). Disponível em https://www.my-invenio.com/.
- Nakatumba, J. and Van Der Aalst, W. (2009). Analyzing resource behavior using process mining, *International Conference on Business Process Management*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 69–80. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12186-9 8.
- OMG (2011a). Business process model and notation (bpmn), version 2.0. Disponível em https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/PDF.
- OMG (2011b). Unified modeling language (omg uml), superstructure, version 2.4.1. Disponível em https://www.omg.org/spec/UML/2.4.1/.
- Passos, L. M. S. and Julia, S. (2015). Deadlock-freeness scenarios detection in web service composition, 2015 12th International Conference on Information Technology-New Generations, IEEE, Las Vegas, NV, USA, pp. 780–783. https://doi.org/10.1109/ITNG.2015.141.
- PM4PY (2020). Disponível em https://pm4py.fit.
 fraunhofer.de/.
- ProM (2020). http://www.promtools.org/doku.php?id= start.
- 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, *International Conference on Application and Theory of Petri Nets*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 450–462. https://doi.org/10.1007/3-540-44919-1_28.
- Rozinat, A. and Van Der Aalst, W. (2008). Conformance checking of processes based on monitoring real behavior, *Information Systems* **33**(1): 64–95. https://doi.org/10.1016/j.is.2007.07.001.
- Sitova, I. and Pecerska, J. (2019). Process mining techniques in simulation model adequacy assessment, 2019 60th International Scientific Conference on Information Technology and Management Science of Riga Technical University (ITMS), IEEE, Riga, Latvia, pp. 1–4. https://doi.org/10.1109/ITMS47855.2019.8940672.
- Song, W., Xia, X., Jacobsen, H.-A., Zhang, P. and Hu, H. (2016). Efficient alignment between event logs and process models, *IEEE Transactions on Services Computing* **10**(1): 136–149. https://doi.org/10.1109/TSC. 2016.2601094.
- Ter Hofstede, A. H., Van Der Aalst, W., Adams, M. and Russell, N. (2009). *Modern Business Process Automation:* YAWL and its support environment, Springer Science & Business Media, Verlag Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-03121-2.

- Van Der Aalst, W. (1997). Verification of workflow nets, International Conference on Application and Theory of Petri Nets, Springer, Toulouse, France, pp. 407–426. https: //doi.org/10.1007/3-540-63139-9_48.
- Van Der Aalst, W. (1998). The application of petri nets to workflow management, Journal of circuits, systems, and computers 8(01): 21-66. https://doi.org/10.1142/ S0218126698000043.
- Van Der Aalst, W. (2011). Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes, Vol. 136.
- Van Der Aalst, W. (2015). Business process simulation survival guide, Handbook on Business Process Management 1, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 337–370. https: //doi.org/10.1007/978-3-642-45100-3_15.
- Van Der Aalst, W. (2016). Process Mining: Data Science in Action, Springer, Verlag Berlin Heidelberg. http://doi. org/10.1007/978-3-662-49851-4.
- Van Der Aalst, W. (2018). Process mining and simulation: A match made in heaven!, SpringSim-SCSC, Bordeaux, France, p. 4. https://dl.acm.org/doi/10.5555/3275382. 3275386.
- Van Der Aalst, W., van Dongen, B. F., Herbst, J., Maruster, L., Schimm, G. and Weijters, A. J. (2003). Workflow mining: A survey of issues and approaches, Data & knowledge engineering 47(2): 237-267. https://doi.org/ 10.1016/S0169-023X(03)00066-1.
- Van Der Aalst, W. and Van Hee, K. M. (2004). Workflow management: models, methods, and systems, MIT press, Massachusetts, London, England.
- Van der Aalst, W., Weijters, T. and Maruster, L. (2004). Workflow mining: Discovering process models from event logs, IEEE Transactions on Knowledge and Data Enqineerinq 16(9): 1128-1142. https://doi.org/10.1109/ TKDE.2004.47.
- Weber, P., Bordbar, B. and Tino, P. (2012). A framework for the analysis of process mining algorithms, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems 43(2): 303-317. https://doi.org/10.1109/TSMCA.2012. 2195169.
- Weidlich, M., Polyvyanyy, A., Desai, N., Mendling, J. and Weske, M. (2011). Process compliance analysis based on behavioural profiles, Information Systems **36**(7): 1009– 1025. https://doi.org/10.1016/j.is.2011.04.002.
- Wickens, C. (1992). Engineering psychology and human performance. new york: Harper-collins.
- XES Standard Definition (2009). Disponível em https:// www.xes-standard.org.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets, Information and https://doi.org/10.1016/ control 8(3): 338-353. S0019-9958(65)90241-X.