

Modelagem de Falhas e Exceções em Processos de Negócios em BPMN: Um Mapeamento Sistemático da Literatura

Sidny de Almeida Molina^{1,2} e Alexandre Acácio de Andrade²

¹Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campo Grande, Brasil

²Universidade Federal do ABC (UFABC), Santo André, Brasil

sidny.molina, alacacioufabc@gmail.com

Abstract. *Handling unexpected situations or behaviors is crucial in business processes, and the BPMN (Business Process Model and Notation) plays a key role in modeling failures and exceptions within these processes. However, there are various ways to model failures and exceptions. The aim of this study is to understand how failures and exceptions in business processes are modeled in BPMN based on real-world scenarios. It was found that intermediate error events are the most commonly used elements to represent failures, while intermediate compensation and cancellation events are frequently used for exceptions.*

Resumo. *O tratamento de situações ou de comportamentos inesperados é essencial em processos de negócios, e a notação BPMN (Business Process Model and Notation) desempenha um papel fundamental na modelagem de falhas e exceções nesses processos. No entanto, existem diferentes maneiras de modelar as falhas e as exceções. O objetivo deste estudo é compreender como as falhas e exceções em processos de negócios são modelados em BPMN a partir de cenários reais. Evidenciou-se que os eventos intermediários de erro são os elementos mais usados para representar falhas, enquanto eventos intermediários de compensação e cancelamento são comuns para exceções.*

1. Introdução

Os modelos de processos de negócios são artefatos que representam o negócio das organizações e são considerados elementos centrais em todo o ciclo de vida do processo de negócio [Dumas et al. 2018, Weske 2019], além de desempenhar um papel central ao sistematizar a criação de modelos de processos de negócios a partir de diferentes perspectivas. De modo geral, esses modelos descrevem atores, atividades, eventos, objetos de dados e lógica de fluxo de controle que compõem um processo de negócio [Dumas et al. 2018].

Tipicamente, os processos de negócios são estaticamente definidos durante o tempo de *design*, fornecendo apenas uma forma limitada de adaptabilidade ou definições imprecisas para lidar com situações ou comportamentos inesperados [Lerner et al. 2008, Lerner et al. 2010, Geist et al. 2018]. Consequentemente, os processos de negócios ficam inadequados, resultando em ambiguidades e levando a diversas consequências; no entanto, é crucial que um modelo de processo de negócio inclua detalhes de suas situações ou comportamentos inesperados, para ser compreensível e executado [Purohit and Tokekar 2018, Andree et al. 2022].

Segundo Weske [Weske 2019], a notação BPMN (*Business Process Model and Notation*) [Object Management Group 2013] é a linguagem mais utilizada nas organizações e na academia, visando fornecer uma notação compreensível para especificar modelos de processos de negócios. Além disso, a extensão do BPMN para modelos de processos de negócios e informações de execução, permite uma ágil reorganização em tempo real [Mazzola et al. 2017]. Essa flexibilidade possibilita a representação do tratamento de exceções, tanto em processos de negócios “tradicionais”, quanto em processos de negócios complexos e dinâmicos [Molina et al. 2023] (combinados para atingir objetivos estratégicos de diversas organizações e denominado de Processos-de-Processos de Negócios - PoP [Cagnin and Nakagawa 2021]) e também em contextos mais complexos, como o de Sistemas-de-Sistemas (SoS) [Santos et al. 2020], onde a comunicação entre sistemas individuais de diferentes organizações é crucial [Maier 1998].

Um dos problemas reais do mundo no contexto de processos de negócios é a inclusão e atenção em detalhes sobre o que fazer quando ocorrerem situações ou comportamentos inesperados [Purohit and Tokekar 2018]. O tratamento de exceções é muito importante para o funcionamento de processos de negócios, ao impedirem que um processo de negócios seja desviado do seu curso natural [Laznik and Juric 2013] e possa ser executado conforme planejado [Andree et al. 2022]; porém, devido à sua natureza, torna-se impraticável resguardar um processo de negócios contra situações ou comportamentos inesperados, dado que circunstâncias incomuns não podem ser antecipadas durante a concepção do processo em questão.

É conhecido que existem abordagens para modelar o tratamento de exceções em processos de negócios tradicionais [Lerner et al. 2008, Lerner et al. 2010]; no entanto, este estudo consiste em mapear e analisar a literatura para compreender como as falhas e o tratamento de exceções em processos de negócios estão sendo modelados em BPMN a partir de cenários reais (ou seja, estudo de casos). Para isso, foi revisado a literatura existente para identificar os elementos da notação BPMN mais comuns utilizados para representar as falhas e o tratamento de exceções em modelos de processos de negócios.

Após a análise dos resultados, destacamos algumas direções que podem impulsionar futuras investigações. Por fim, este estudo foi motivado por uma pesquisa exploratória que definiu cenários abstratos baseados em situações reais para representar o tratamento de exceções em modelos de PoP [Molina et al. 2023] (geralmente automatizados por SoS) e avaliados por especialistas em BPMN.

O restante deste estudo está estruturado da seguinte forma: Na Seção 2 é introduzida a metodologia estabelecida para a condução do mapeamento sistemático. Na Seção 3 são apresentados os resultados das análises dos dados coletados e as questões de pesquisa respondidas. Na Seção 4 é apresentado as ameaças à validade deste estudo. Por fim, na Seção 5, apresentamos as principais conclusões e perspectivas para trabalhos futuros.

2. Método de Pesquisa

Foi adotado o processo descrito na Figura 1 como método de pesquisa para realizar este estudo de Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) [Kitchenham and Charters 2007], que apresenta em três fases principais: planejamento, condução e apresentação dos resultados. Os detalhes do protocolo estão disponíveis a partir do link <https://link.ufms.br/iyFqX>.

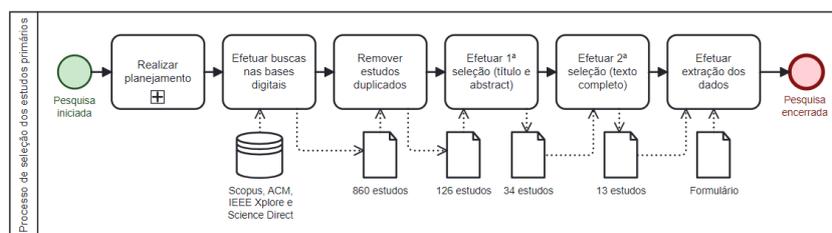


Figura 1. Processo de seleção dos estudos primários

Além disso, foi utilizado as ferramentas Parsifal¹ para apoiar nos registrar das duas primeiras etapas e o *Google Sheets*² para tabular os dados dos estudos primários e confeccionar os gráficos. Inicialmente, foram definidos os objetivos da pesquisa e formuladas as seguintes questões de pesquisa:

- **RQ1:** Quais elementos da notação BPMN são utilizados para representar o momento das falhas e como diferentes tipos de falhas são categorizadas?
- **RQ2:** Quais elementos da notação BPMN estão sendo utilizados para representar o tratamento de exceções?
- **RQ3:** Quais abordagens e ferramentas integradas ao BPMN são utilizadas para aprimorar a modelagem de exceções e falhas?

Em seguida, uma *string* de busca genérica foi criada a partir das palavras-chave “*Business Process*” e “*Exception Handling*”. As palavras-chave foram conectadas por meio do operador lógico **AND**, enquanto as variações e sinônimos foram conectadas por meio do operador **OR**. Os termos da *string* de busca foram selecionados visando uma busca mais ampla (ou seja, uma grande abrangência de estudos). Foi realizado diferentes testes de configurações da *string* de busca no Scopus, considerado o maior banco de dados de publicações científicas que indexa os locais de publicação mais relevantes. Após calibrar a *string* de pesquisa, a string final foi:

```
( ``Business Process`` OR ``Process Modeling`` OR
``BPMN`` ) AND ( ``Exception`` OR ``Exceptions Handling`` )
```

A estratégia de busca envolveu buscas eletrônicas em quatro bibliotecas digitais (*Scopus*³, *ACM Digital Library*⁴, *IEEE Xplore*⁵ e *Science Direct*⁶) frequentemente adotadas em mapeamentos e revisões sistemáticas da literatura na área de Processos de Negócios, Engenharia de Software e outras áreas relacionadas. Como a *Scopus* indexa estudos de diferentes bibliotecas digitais, ela foi utilizada pelos autores para realizar a calibragem da *string* de busca padrão, tomando como base três estudos de controle destacados em negrito na Tabela 2 (estudos primários).

Após as buscas realizadas no período de 22/03/2024 a 01/04/2024, foram localizados **860** estudos e em seguida, foi removido os estudos duplicados, resultando em um conjunto de **126** estudos a serem analisados posteriormente. Em seguida, foi analisado o

¹<https://parsif.al/>

²<https://docs.google.com/spreadsheets/>

³<https://www.scopus.com/>

⁴<https://www.acm.org/>

⁵<https://ieeexplore.ieee.org/>

⁶<https://www.sciencedirect.com/search/entry>

título e resumo (1ª seleção), aplicamos os critérios de seleção listados na Tabela 1. Assim, descartamos **701** estudos e **34** permaneceram para uma análise detalhada e criteriosa. Em diante, foi realizada a leitura completa de todos os estudos (2º seleção) e, após aplicar novamente os critérios de seleção e observar os elementos BPMN, **13** estudos foram selecionados para a extração de dados e estão listados na Tabela 2.

Tabela 1. Critérios de seleção

Critérios de Inclusão (CI)
CI1: O estudo apresenta casos reais utilizando elementos BPMN para representar falhas e tratamento de exceções.
Critérios de Exclusão (CE)
CE1: O não estudo apresenta casos reais utilizando elementos BPMN para representar falhas e tratamento de exceções.
CE2: O estudo não é revisado por pares.
CE3: O estudo não está disponível online ou não foi obtido contatando os autores.
CE4: O estudo está escrito em um idioma que não seja inglês.
CE5: O estudo é um estudo curto, editorial, resumo de palestras principais, tutorial ou prévias.

Tabela 2. Estudos selecionados

ID	Título e referência
E1	Modeling Exception Flows in Integration Systems [Ritter and Sosulski 2014]
E2	Formalization of business workflow with typed attributed graph [Tripathi et al. 2018]
E3	Specification and verification of complex business processes-a high-level petri net-based approach [Kheldoun et al. 2015]
E4	Process modeling using ILOG JViews BPMN Modeler tool to Identify Exceptions [Saravanan and Sree 2009]
E5	Semantics-based aspect-oriented management of exceptional flows in business processes [Ghidini et al. 2011]
E6	Process modeling for industry 4.0 applications: Towards an industry 4.0 process modeling language and method [Petrasch and Hentschke 2016]
E7	Integrating quantum computing into workflow modeling and execution [Weder et al. 2020]
E8	Emulating Runtime Workflow Adaptation and Aspect Weaving by Recursive Rule-Based Sub-Process Selection - A Model Transformation Approach [Döhring et al. 2012]
E9	A BPMN-Engine Based Process Automation System [Lin et al. 2022]
E10	Formal verification of complex business processes based on high-level Petri nets [Kheldoun et al. 2017]
E11	Experiences with Business Process Model and Notation for Modeling Integration Patterns [Ritter 2014]
E12	Modeling and execution of blockchain-aware business processes [Falazi et al. 2019]
E13	Formalisations and applications of BPMN [Wong and Gibbons 2011]

3. Resultados

Antes de responder às questões de investigação, apresentamos brevemente uma visão geral do conjunto de estudos selecionados.

3.1. Visão geral dos estudos

A Figura 2 apresenta os estudos conforme o ano de publicação, domínio de aplicação, tipo de evento e tipo de estudo. Observa-se que a publicação dos estudos está distribuída de maneira equilibrada ao longo dos anos (exceto no período de 2010, 2012, 2013 e 2021) e a maioria dos autores são da academia. Em relação ao tipo de publicação, foram publicados em diversas conferências e em *journals* importantes da área. O principal domínio no qual os estudos foram aplicados, destaca-se o domínio em Gerenciamento de Processos de Negócios (E2, E3, E4, E5, E10 e E13). Além deste domínio, há outros como, Tecnologia da Informação, Computação Quântica, Indústria 4.0 e Engenharia de Software; porém, com menos recorrência.

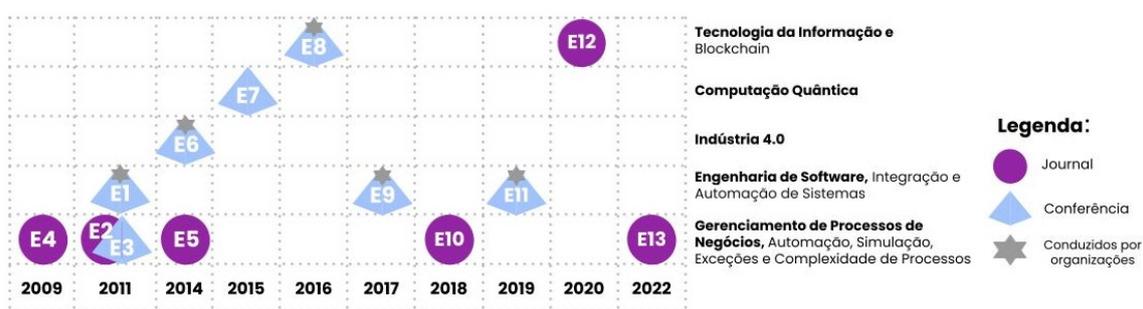


Figura 2. Visão geral dos estudos

Em relação ao país de origem dos autores dos estudos, se destacam os países da Europa e Ásia, que totalizam 15 e 10 autores. O continente africano possui 4 autores, enquanto a América do Norte possui 2 autores. Desta forma, observa-se que o tema deste MSL está sendo investigado em diversas partes ao redor do mundo.

3.2. Elementos utilizados para representar o momento das falhas e como diferentes tipos de falhas são categorizadas (RQ1)

O campo de pesquisa sobre em modelagem de falhas em processos de negócios, considerando especialmente o uso da notação BPMN, é bem popular na literatura. Apesar de haver diretrizes e recomendações quanto ao uso da notação BPMN [Object Management Group 2013, Dumas et al. 2018, Weske 2019], há diferentes maneiras de representar e modelar as falhas e exceções em BPMN.

Para responder à RQ1 (*Quais elementos da notação BPMN são utilizados para representar o momento das falhas e como diferentes tipos de falhas são categorizadas?*), o elemento mais utilizado para representar o momento da falha é o evento intermediário de erro anexados nas tarefas de envio, tarefas de recebimento de mensagem, tarefas de serviços, tarefas comuns, subprocessos e após a especificação de um fluxo de sequência, conforme apresentado na Tabela 3. Além disso, a maioria das falhas ocorre durante a interoperabilidade intraorganizacional, entre sistemas e também na integração entre processos de negócios individuais. Para facilitar o entendimento das Tabelas 3 e 4, disponibilizamos um link⁷ que contém representações de acordo com à fonte de informação.

⁷<https://link.ufms.br/Axftp8>.

Tabela 3. Elementos BPMN utilizados para representar as falhas

Elemento	Momento da falha	Tipos de falhas	Fonte
Erro	Envio da mensagem	Interoperabilidade entre sistemas	E1 e E6
Erro	Recebimento de mensagem	Interoperabilidade entre sistemas	E1
Erro	Serviços automatizados	Integração de sistemas	E1
Erro	Tarefa comum	Interoperabilidade intraorganizacional	E3, E4 e E10
Erro	Subprocesso	Interoperabilidade intraorganizacional	E3, E5, E7, E9 e E10
Cancelamento	Subprocesso	Interoperabilidade intraorganizacional	E4
Erro	Fluxo de sequência	Interoperabilidade intraorganizacional	E8
Temporal	Recebimento de mensagem	Integração entre processos	E11
Temporal	Subprocesso	Interoperabilidade intraorganizacional	E12

3.3. Elementos utilizados para representar o tratamento de exceções (RQ2)

Em respostas da RQ2 (*Quais elementos da notação BPMN estão sendo utilizados para representar o tratamento de exceções?*), há diversos elementos BPMN e diferentes forma de representar o tratamento de exceções em processos de negócios. Conforme apresentado na Tabela 4, o elemento mais comum utilizado pela literatura é o evento intermediário de compensação para retroceder a execução da tarefa ou voltar ao estado anteriormente a falha apresentada; porém, nem sempre este tipo de ação em processos de negócios ocorre trivialmente por poder variar de domínios e contextos diferentes.

Tabela 4. Elementos BPMN utilizados para representar o tratamento de exceções

Elemento	Representação do Tratamento de Exceções	Fonte
Compensação	É especificado após a falha ocorrida por meio de um fluxo de sequência.	E1
Compensação	É especificado após a junção de todas as falhas por meio de um fluxo de sequência em direção a um desvio exclusivo	E1
Compensação	É especificado na borda de uma tarefa comum	E2
Cancelamento	Em casos de erros ou falhas, é cancelado a execução do processo como todo e retornar a um desvio anterior ao começo da execução do processo	E1
Tarefa comum	Em casos de erros ou falhas, o tratamento é executado no próprio fluxo de sequência durante a execução do processo	E4
Fluxo de sequência	É especificado após o evento intermediário de erro em anexo na tarefa com falha que vá em direção ao desvio exclusivo	E3
Tarefa de serviço	É especificado após o evento intermediário de erro em anexo na tarefa com falha	E3 e E10
Subprocesso	É especificado após o evento intermediário de erro em anexo na tarefa com falha	E5, E6 e E9
Fim de envio de mensagem	É especificado após o evento intermediário de erro em anexo na tarefa de serviço e de um subprocesso com falha	E7
Compensação	É especificado em anexo no subprocesso com falha	E8
Signal	É especificado em diversas tarefas, como, tarefa de recebimento, tarefa de serviço e em subprocesso	E11
Temporal	É especificado em anexo no subprocesso	E12
Recebimento de mensagem	É especificado em anexo no subprocesso	E12

3.4. Abordagens e ferramentas integradas ao BPMN são utilizadas para aprimorar a modelagem de exceções e falhas (RQ3)

Nesta seção, respondemos à RQ3 (*Quais abordagens e ferramentas integradas ao BPMN são utilizadas para aprimorar a modelagem de exceções e falhas?*). Identificamos diversos tipos de abordagens e ferramentas que aprimoram a modelagem de exceções e falhas em diferentes contextos. Abaixo, apresentamos elas de maneira classificadas.

Extensões e Modelos Especializados: **E2** propõe uma extensão do BPMN chamada “*Business Process Workflow using Typed Attributed Graph*” (BPWATG) para formalizar e melhorar a modelagem de processos de negócio, com foco em exceções e falhas. Este modelo abrange aspectos estruturais, funcionais e comportamentais dos processos de negócio, permitindo lidar com várias dependências (dados, controle e temporais), conceitos de temporização (temporizadores e *time-outs*), além de verificar a automação dos processos entre o modelo conceitual e o modelo de execução. Já **E3** e **E10** utilizam uma variante chamada “ECATNets” para lidar com modelos de processos de negócios complexos. Essa abordagem estabelece regras de mapeamento que fornecem uma semântica formal para diagramas em BPMN, permitindo a verificação de propriedades comportamentais dos processos de negócios através de modelos Maude LTL (*Linear Temporal Logic*). Por um lado, **E3** utiliza a “*ATLAS Transformation Language*” (ATL) e Maude LTL para converter modelos BPMN em RECATNets e verificar propriedades temporais (LTL) dos modelos convertidos. Por outro lado, **E10** oferece uma abordagem estruturada para tratar aspectos complexos, permitindo uma modelagem mais precisa e verificável dos processos de negócios. **E3** destaca que as exceções são mapeadas como transições que interrompem a execução normal das atividades, e que as transições de cancelamento são especificadas para terminar nos subprocessos, enquanto **E10** ressalta que os fluxos de exceção são capturados por transições elementares.

Linguagens e Ferramentas de Modelagem: Em **E4**, os autores utilizam a ferramenta “*ILOG JViews BPMN Modeler*” para identificar e verificar exceções nos processos de negócios, a fim de evitar problemas durante a implementação e execução dos processos. Além disso, a ferramenta permite organizar processos usando diagramas de processos de negócios (BPDs) e está conforme os padrões BPMN segundo a primeira especificação, disponibilizada em 2011. Já **E5** utiliza BPMN “*Visual Rule Language*” (VRL), BPMN “*Visual Query Language*” (VQL) e a ferramenta “*Aspectization Tool*” para facilitar a modularização e o gerenciamento de preocupações transversais em processos de negócios, especialmente para a gestão de situações excepcionais. VRL permite definir e aplicar regras de atualização visualmente, enquanto VQL possibilita consultas estruturais e semânticas. A *Aspectization Tool* automatiza a aplicação dessas regras, garantindo atualizações consistentes e melhorando a manutenção e a adaptabilidade dos processos. **E6** utiliza uma extensão da notação BPMN chamada “*Industry 4.0 Process Modeling Language*” (I4PML) para permitir a modelagem formal e abrangente de processos de negócios que envolvem componentes e tecnologias avançadas da Indústria 4.0. A extensão também facilita uma análise detalhada desses aspectos durante a especificação de requisitos e a modelagem de processos, permitindo uma descrição semi-formal e precisa das especificações de requisitos de software, visando garantir a consistência terminológica e a correção dos modelos, adaptando-se às mudanças e correções necessárias.

Ferramentas de Execução e Análise: **E7** utiliza a ferramenta “*Modeling Exten-*

sion for Quantum Computing” (QuantME) para executar circuitos quânticos e descrever em tarefas por meio da BPMN, focando também nos elementos para representar falhas e o tratamento de exceções neste contexto. Em **E8**, os autores apresentam uma variante em BPMN denominada “vBPMN”, que separa claramente as partes estáticas e variantes dos modelos de processo, facilitando na manutenção e adaptação dinâmica sem modificar diretamente o núcleo do motor de execução de tarefas. Já **E9**, os autores utilizam motores em BPMN (Camunda e *SpiffWorkflow*) para realizar o gerenciamento de falhas e exceções em processos colaborativos entre humanos e robôs, com a comunicação por programação assíncrona e chamadas a serviços *REST*. Por fim, **E11** utiliza “*Apache Camel*” para definir e implementar rotas de integração, manipulando mensagens de entrada e saída. Também é utilizado o “*Message Processing Log*” (MPL) para monitorar mensagens durante o processamento, ajudando a identificar falhas e exceções e o uso do mecanismo “*Conditional Start*” que permite a instância dinâmica de subprocessos, representando protocolos técnicos (HTTP, SOAP, FTP) que consomem e produzem mensagens.

Integração com Tecnologias Emergentes: Em **E12**, os autores integram modelos de processos de negócios com tecnologias de *blockchain* para representar situações que ocorrem no mesmo contexto, por exemplo, definir tempos limites e tratar transações “órfãs” (transações isoladas e que deixaram de pertencer a um conjunto de transações) e entre outras tarefas que apoiam essa técnica chamada “*BlockME*”. E por fim, **E13** apresenta um modelo semântico para BPMN que permite a especificação de restrições de tempo em atividades concorrentes, além da verificação automática de modelos é realizada usando a ferramenta “*Failures-Divergences Refinement*” (FDR), incluindo a verificação de exceções e falhas.

4. Ameaças à validade

As principais ameaças à validade deste trabalho estão relacionadas a: (i) *possível perda de estudos relevantes*: para enfrentar essa ameaça, foram realizadas buscas em diversas bibliotecas digitais e refinamos a *string* de busca mediante a inclusão de termos encontrados nos estudos de controle. Os termos “*Fault*”, “*Tolerance*” e “*Error*” foram deliberadamente excluídos da *string* para evitar a limitação do escopo da pesquisa; (ii) *parcialidade na seleção dos estudos*: para mitigar essa ameaça, seguimos rigorosamente o processo de MSL adotado para este trabalho [Kitchenham and Charters 2007] (houveram a participação dos autores nas duas etapas de seleção e todas as discordâncias foram discutidas e resolvidas conjuntamente); (iii) *falta de padronização na extração dos dados e confiabilidade nos resultados*: para abordar essa ameaça, desenvolvemos um formulário de extração na ferramenta Parsifal, validado por todos os autores. O primeiro autor extraiu os dados dos estudos primários, e o segundo autor validou e refinou esses dados. Os resultados foram discutidos para uma síntese mais aprimorada das respostas às questões de pesquisa.

5. Considerações finais

A partir dos resultados obtidos neste MSL, foi possível identificar os elementos BPMN mais utilizados para representar falhas e exceções, destacando a flexibilidade, diversidade e adaptabilidade dessa notação em processos de negócios tradicionais. Embora a especificação desta notação ofereça várias abordagens para modelagem de falhas e exceções, observamos que há uma variedade de elementos que podem ser utilizados

em diferentes contextos. Isso pode resultar em complexidades durante na modelagem de falhas e no tratamento eficaz de exceções, especialmente em cenários dinâmicos e complexos, onde a clareza é limitada em diferentes situações, como na representação de integração entre sistemas e na coordenação entre processos de negócios distintos de diferentes organizações. Como trabalhos futuros, propomos explorar a literatura cinza para identificar práticas adicionais de modelagem de falhas e exceções, além de investigar, por meio de outro MSL, a colaboração e a orquestração em processos de negócios representados a partir da notação BPMN.

Referências

- Andree, K., Ihde, S., Weske, M., and Pufahl, L. (2022). An exception handling framework for case management. *Software and Systems Modeling*.
- Cagnin, M. I. and Nakagawa, E. Y. (2021). Towards dynamic processes-of-business processes: a new understanding. *Business Process Management Journal*.
- Döhring, M., Schulz, A., and Galkin, I. (2012). Emulating runtime workflow adaptation and aspect weaving by recursive rule-based sub-process selection-a model transformation approach. In *16th International Enterprise Distributed Object Computing Conference*.
- Dumas, M., La Rosa, M., Mendling, J., Reijers, H. A., et al. (2018). *Fundamentals of business process management*, volume 2. Springer.
- Falazi, G., Hahn, M., Breitenbücher, U., and Leymann, F. (2019). Modeling and execution of blockchain-aware business processes. *SICS Software-Intensive Cyber-Physical Systems*.
- Geist, V., Natschläger, C., Illibauer, C., and Schewe, K.-D. (2018). Towards functional safety and security for adaptive and flexible business processes. *Journal of Software: Evolution and Process*.
- Ghidini, C., Di Francescomarino, C., Rospocher, M., Tonella, P., and Serafini, L. (2011). Semantics-based aspect-oriented management of exceptional flows in business processes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*.
- Kheldoun, A., Barkaoui, K., and Ioualalen, M. (2015). Specification and verification of complex business processes-a high-level petri net-based approach. In *13th International Conference BPM*.
- Kheldoun, A., Barkaoui, K., and Ioualalen, M. (2017). Formal verification of complex business processes based on high-level petri nets. *Information Sciences*.
- Kitchenham, B. and Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. Technical report, Keele University and Durham University.
- Laznik, J. and Juric, M. B. (2013). Context aware exception handling in business process execution language. *Information and Software Technology*.
- Lerner, B. S., Christov, S., Osterweil, L. J., Bendraou, R., Kannengiesser, U., and Wise, A. (2010). Exception handling patterns for process modeling. *IEEE Transactions on Software Engineering*.

- Lerner, B. S., Christov, S., Wise, A., and Osterweil, L. J. (2008). Exception handling patterns for processes. In *4th international workshop on exception handling*.
- Lin, P., Li, X., Dong, Z., and Zhang, L. (2022). A bpmn-engine based process automation system. In *17th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*.
- Maier, M. W. (1998). Architecting principles for systems-of-systems. *Systems Engineering: The Journal of the International Council on Systems Engineering*.
- Mazzola, L., Kapahnke, P., Waibel, P., Hochreiner, C., and Klusch, M. (2017). Fce4bpmn: On-demand qos-based optimised process model execution in the cloud. In *International Conference on Engineering, Technology and Innovation: New Challenges, New Approaches*.
- Molina, S. A., Costa, M., Nazário, A., Paiva, D., and Cagnin, M. (2023). Cenários abstratos de tratamento de exceções na interoperabilidade de processos-de-processos de negócios. In *Anais do V MSSiS*.
- Object Management Group (2013). Business Process Model and Notation (BPMN) - Version 2.0. <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0.2/>.
- Petrasch, R. and Hentschke, R. (2016). Process modeling for industry 4.0 applications: Towards an industry 4.0 process modeling language and method. In *13th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)*.
- Purohit, P. and Tokekar, V. (2018). Patterns for effective handling of exceptions in processes using different modeling languages and notations. *International Journal of Engineering Research and Technology*.
- Ritter, D. (2014). Experiences with business process model and notation for modeling integration patterns. In *10th European Conference Modelling Foundations and Applications (ECMFA)*.
- Ritter, D. and Sosulski, J. (2014). Modeling exception flows in integration systems. In *18th International Enterprise Distributed Object Computing Conference*.
- Santos, J., Graciano-Neto, V., and Nakagawa, E. (2020). Business process modeling in systems of systems. In *Anais do II MSSiS*.
- Saravanan, F. A. and Sree, R. (2009). Process modeling using ilog jviews bpmn modeler tool to identify exceptions. *Global Journal of Computer Science and Technology*.
- Tripathi, D., Banerjee, S., and Sarkar, A. (2018). Formalization of business workflow with typed attributed graph. *International Journal of Web Information Systems*.
- Weder, B., Breitenbücher, U., Leymann, F., and Wild, K. (2020). Integrating quantum computing into workflow modeling and execution. In *13th International Conference on Utility and Cloud Computing (UCC)*.
- Weske, M. (2019). *Business Process Management—Concepts, Languages, Architectures*. Springer, Berlin, Heidelberg, 3rd edition edition.
- Wong, P. Y. and Gibbons, J. (2011). Formalisations and applications of bpmn. *Science of Computer Programming*.