

# Unveiling a Process for the Establishment of Interoperability Links between Software-Intensive Information Systems

Andrey G. França  
andreyfranca@inf.ufg.br  
Federal University of Goiás (UFG)  
Goiânia, Brazil

Rafael Z. Frantz  
rzfrantz@unijui.edu.br  
Regional University of the Northwest  
of the State of Rio Grande do Sul  
Ijuí, Brazil

Valdemar V. Graciano Neto  
valdemarneto@ufg.br  
Federal University of Goiás (UFG)  
Goiânia, Brazil

## ABSTRACT

**Context:** Software-Intensive Information Systems (SIIS) often collaborate to accomplish a set of goals. **Problem:** Due to several factors such as heterogeneity and distribution of these SIIS, interoperability is still a challenge. Currently, despite various available techniques and integration approaches, organizations often adopt *ad-hoc* methods to create interoperability links between SIISs. This approach frequently results in resource loss and unstable solutions. **Solution:** We introduce SPPOI, a Structured Process for Pattern-Oriented Integration, designed to bridge the prevalent gap by methodically applying proven integration patterns to overcome the prevalent integration challenges. **IS Theory:** This research employs General Systems Theory to explore the intricate dynamics within SIIS, highlighting their complex, interdependent structures. **Method:** We conducted a Grounded Theory (GT) study with industry professionals and a Systematic Literature Review (SLR). The results from both were used to guide the construction of the process. **Results:** We developed a process for integrating SIIS, addressing key steps and associated challenges. **Contributions:** An evaluation with specialists was conducted, and the results shows that applying this process can help integration architects foresee potential issues, allocate resources efficiently, and ultimately develop more reliable and effective integration solutions. Furthermore, we anticipate that, in the future, this process could be automated to create interoperability links between SIISs.

## CCS CONCEPTS

• **Software and its engineering** → **Interoperability**.

## KEYWORDS

software-intensive systems, enterprise application integration, interoperability, integration process

## ACM Reference Format:

Andrey G. França, Rafael Z. Frantz, and Valdemar V. Graciano Neto. 2024. Unveiling a Process for the Establishment of Interoperability Links between Software-Intensive Information Systems. In *Proceedings of the XX Brazilian*

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from [permissions@acm.org](mailto:permissions@acm.org).

SBSI 2024, May, 2024, Juiz de Fora, Brazil

© 2024 Association for Computing Machinery.  
ACM ISBN 978-x-xxxx-xxxx-x/YY/MM. . . \$15.00  
<https://doi.org/10.1145/1234567890>

*Symposium on Information Systems (SBSI 2024)*. ACM, New York, NY, USA, 10 pages. <https://doi.org/10.1145/1234567890>

## 1 INTRODUÇÃO

O estabelecimento de *links* de interoperabilidade entre Sistemas de Informação Intensivos em Software (SIIS<sup>1</sup>) é parte das necessidades cotidianas de muitas empresas. A concorrência global pode levar empresas a participarem de redes colaborativas, combinando as funcionalidades de seus sistemas e construindo alianças interorganizacionais para responder a demandas de negócios. Um exemplo disso é a Amazon, que possui alianças com várias outras empresas menores para fornecer um conjunto diversificado de produtos em seu portfólio [7]. A interoperabilidade tem sido tema de investigação por décadas. Não obstante, continua sendo um problema importante [4, 6, 7, 26], inclusive como parte dos Grandes Desafios em Sistemas de Informação no Brasil para a Década de 2016 - 2026 [19]. Para operacionalizar uma aliança entre organizações, é preciso estabelecer a interoperabilidade entre os seus sistemas de informação (SI<sup>2</sup>) em nível técnico. Neste sentido, a chamada Integração de Aplicações Empresariais (do inglês, EAI), que pode ser definida como a capacidade de fazer com que sistemas distintos trabalhem de forma coesa e unificada para atender necessidades do negócio, é uma abordagem para estabelecer tais *links* de interoperabilidade [10]. Ainda que várias técnicas e abordagens para integrar sistemas tenham sido propostas nas últimas décadas, a carência de processo estruturado para guiar o desenvolvimento de soluções de integração (comprovado como resultado de Revisão Sistemática da Literatura, SLR [8]) pode levar organizações a recorrerem a abordagens *ad-hoc* para realizar tais integrações. Embora essas abordagens possam tratar do problema técnico imediato, frequentemente negligenciam aspectos importantes da integração, o que pode levar a problemas de desempenho, integrações frágeis que falham em condições adversas, resultando em desperdício de recursos, maior custo operacional e dificuldade de manutenção.

A principal contribuição deste artigo é propor o SPPOI (do inglês, *Structured Process for Pattern-Oriented Integration*), ou Processo Estruturado para Integração Orientada a Padrões. Este processo é baseado em evidências anteriores, obtidas por meio de uma SLR em que 40 estudos primários foram selecionados para análise. Como resultado, foram detalhados os principais estágios de integração

<sup>1</sup>De acordo com a ISO 42010, um “sistema intensivo em software” é definido como um sistema em que o software desempenha um papel central e crítico nas suas funções, performance e qualidades. Esta definição se aplica igualmente a um “sistema de informação intensivo em software”.

<sup>2</sup>Por questões de simplicidade, ao longo deste texto, o acrônimo SI será utilizado para expressar as duas formas: singular e plural: Sistema de Informação e Sistemas de Informação.

e seus desafios. Além disso, foi realizado um estudo utilizando o método *Grounded Theory* (GT), onde foram aplicados questionários online com 19 participantes e realizadas entrevistas com 12 especialistas. A partir de tais resultados, o SPOI foi concebido, com várias etapas para apoiar a condução de projetos de integração. O processo foi também avaliado por especialistas. Resultados revelam uma recepção positiva ao processo SPOI, com avaliações que enfatizam sua utilidade, eficiência e aplicabilidade prática.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a fundamentação teórica; a Seção 3 discute trabalhos relacionados; a Seção 4 detalha o método de pesquisa adotado; a Seção 5 apresenta o SPOI; a Seção 6 apresenta a avaliação do SPOI; e finalmente, a Seção 7 apresenta as considerações finais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

As soluções EAI comumente se baseiam em **padrões de integração**, conforme documentado por Hohpe e Woolf [15]. Esses padrões fornecem uma base essencial para metodologias no campo do EAI, oferecendo um catálogo abrangente detalhando problemas recorrentes e soluções correspondentes. Portanto, os padrões de integração são elaborados para enfrentar problemas comuns ao integrar sistemas diversos. Os padrões são organizados em cinco categorias: (1) padrões de construção de mensagem; (2) padrões de roteamento de mensagem; (3) padrões de transformação de mensagem; (4) padrões de canais de mensagem; e (5) padrões de pontos de integração. Cada categoria se concentra em um aspecto distinto da integração, fornecendo assim um conjunto versátil de ferramentas para arquitetos de integração trabalharem em tarefas de integração complexas [10].

A área de EAI oferece metodologias, técnicas e ferramentas bem estabelecidas para modelar e implementar soluções de integração. Essas soluções visam permitir que aplicações projetadas independentemente colaborem no apoio a novos processos de negócios [11]. Estas soluções são baseadas nos padrões de integração, geralmente seguindo uma topologia “*hub-and-spoke*”. Nesta configuração, as aplicações são conectadas a um sistema central de mensageria, que funciona como um *middleware*. Os adaptadores implementam as portas de comunicação, permitindo que as mensagens, que carregam dados, sejam transferidas de um sistema para outro. Neste contexto, foram propostas várias ferramentas para integrar sistemas que dão suporte aos padrões, como RabbitMQ<sup>3</sup>, ActiveMQ<sup>4</sup>, Apache Camel<sup>5</sup>, Mule<sup>6</sup> e Spring Integration<sup>7</sup>. Embora técnicas e ferramentas de integração tenham sido extensivamente pesquisadas, e os padrões de Hohpe e Woolf sejam muito importantes para melhoria da qualidade da integração, os estudos focam na aplicabilidade de cada padrão, e não se encontra um processo que sirva de guia para o desenvolvimento de soluções de integração.

Dada a diversidade inerente de SIISs atualmente, esperar adesão universal a um único padrão é algo que pode demorar a acontecer [29, 32]. Assim, o foco deve estar em garantir interoperabilidade, exigindo estratégias para integrar sistemas com protocolos ou interfaces diversas [2, 19]. No entanto, alcançar a tão desejada interoperabilidade plena envolve superar diversos desafios, incluindo barreiras conceituais, técnicas, humanas e organizacionais [4, 7, 26, 31, 32].

<sup>3</sup><https://www.rabbitmq.com/>

<sup>4</sup><https://activemq.apache.org/>

<sup>5</sup><https://camel.apache.org/>

<sup>6</sup><https://www.mulesoft.com/pt/>

<sup>7</sup><https://spring.io/projects/spring-integration/>

De fato, este desafio é destacado como um dos Principais Desafios de Pesquisa em Sistemas de Informação no Brasil para o período de 2016 a 2026 [19]. Nesse contexto, ao mapear um processo de integração de SIISs, busca-se dar um passo em direção à elucidação das tarefas e atividades inerentes à integração. Com a compreensão dessas atividades, é possível iniciar a elaboração de métodos para automatizá-las, visando criar *links* de interoperabilidade dinâmicos entre os SIISs, rumo ao alcance da interoperabilidade plena.

**Interoperabilidade** é um atributo de qualidade chave no contexto de SIIS. Diversas definições de interoperabilidade existem na literatura. A norma ISO/IEC 2382:2015 [1] define interoperabilidade como “a capacidade de um sistema ou produto de trabalhar com outros sistemas ou produtos sem esforço especial por parte do cliente”. Ela estabelece a base para a interoperabilidade em sistemas de TI e fornece uma terminologia comum para facilitar discussões sobre interoperabilidade. Embora a **interoperabilidade e a integração** sejam por vezes usadas de maneira intercambiável, elas possuem conotações e implicações distintas no contexto de SIIS. Sistemas integrados ainda são considerados interoperáveis; no entanto, o inverso não é verdadeiro. Fundamentalmente, a integração opera em um nível de abstração mais tecnológico e operacional, onde os sistemas compartilham suas interfaces com os outros, sendo necessária a elaboração de soluções específicas para conectar a comunicação entre sistemas, possibilitando que eles funcionem como uma unidade coesa. Isso envolve a tradução de formatos de dados, adaptação de chamadas e, potencialmente, a incorporação de *middleware* ou pontos de integração específicos para facilitar a troca de dados ou a invocação de operações entre sistemas. Embora a integração forneça um mecanismo robusto para conectar sistemas (interoperar), ela pode também introduzir um grau de dependência funcional, onde os sistemas integrados podem perder funcionalidade substancial se os serviços interconectados forem interrompidos. Por outro lado, a interoperabilidade se estabelece como um conceito que define um modelo de comunicação amplo e abstrato, permitindo que sistemas comuniquem e funcionem juntos sem a necessidade de soluções personalizadas. Ela é baseada na aderência a padrões abertos, protocolos e modelos de dados, garantindo que os sistemas possam “falar a mesma língua” e compartilhar funcionalidades de maneira transparente e eficaz. A interoperabilidade, ao facilitar a comunicação e o compartilhamento de funcionalidades entre sistemas, mantém a capacidade destes sistemas para operarem independentemente, reduzindo assim a dependência funcional que pode ser observada em sistemas integrados [7, 23, 33, 34].

## 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Inúmeros estudos têm tratado dos aspectos técnicos da integração [10–12, 15]. No entanto, a literatura sobre os processos para guiar a utilização da vasta gama de técnicas de integração disponíveis para construir soluções de integração permanece escassa. França et al. [9] conduziram uma revisão sistemática da literatura (do inglês, SLR) com o objetivo de compreender o estado da arte dos processos de integração propostos, os quais serão discutidos nesta seção.

No âmbito dos Sistemas-de-Sistemas, a integração foi o foco de Thomas Mazzuchi e Ghazi Albakri (2011) [20], com o objetivo de simplificar e aprimorar o processo de unificação de sistemas existentes em uma entidade única. Eles introduziram um novo processo conhecido como o M-Process, que foi elaborado para atender às

necessidades e desafios específicos apresentados pelos paradigmas de SoS. O principal objetivo por trás da criação do *M-Process* era integrar eficientemente dois SoS pré-existentes, abordando assim a necessidade de combinar “sistemas antigos com outros sistemas antigos”. Por outro lado, Smojver et al. (2009) [27] introduziram um modelo de processo híbrido que engloba atividades relacionadas à integração de sistemas, adotando uma abordagem ágil, iterativa e incremental. Este modelo define um processo de integração em várias etapas, projetado com foco na adaptabilidade e eficiência, garantindo que o sistema possa evoluir e se adaptar a requisitos e ambientes em constante mudança. Além disso, Wing Lam e Venky Shankararaman (2004) [18] desenvolveram uma metodologia de integração empresarial, que oferece uma abordagem abrangente e estruturada para resolver problemas de integração empresarial, oferecendo um *framework* robusto que aborda diversos desafios encontrados na integração empresarial. Ambos os modelos, embora diferentes em sua abordagem, oferecem *insights* valiosos e metodologias para abordar os desafios multifacetados apresentados pela integração de sistemas.

Em resumo, embora os estudos discutidos tenham proposto processos que abordam aspectos específicos da integração, uma lacuna notável persiste, nenhum deles forneceu uma abordagem abrangente que englobe técnicas de EAI com uma visão holística ao longo de todo o ciclo de vida da engenharia.

## 4 MÉTODO DE PESQUISA

O processo para integração de SIISs proposto neste artigo é fundamentado na literatura especializada e nas experiências de profissionais da indústria. Neste sentido, a metodologia adotada, influenciada pelo método proposto por Neto, Spínola e Travassos [5], foi adaptada aos objetivos específicos desta pesquisa. O método é composto por três estágios: concepção, construção e avaliação. As principais atividades de cada estágio do processo são ilustradas na Figura 1. Em suma, uma SLR foi conduzida para capturar o estado da arte, identificando processos, atividades de integração de SIISs e desafios relatados. Adicionalmente, um estudo com profissionais da área foi realizado para compreender o estado da prática. Ademais, os resultados dos estudos de SLR e GT [8, 9] serão sumarizados nas próximas subseções.

### 4.1 Revisão Sistemática da Literatura

A investigação foi conduzida seguindo as diretrizes de Kitchenham e Charters [16], adotando o processo descrito na Figura 2 como método para seleção de estudos primários. Inicialmente, definiram-se os objetivos da pesquisa e formulou-se as seguintes Questões de Pesquisa (do inglês, RQ):

- **RQ1:** Quais são os processos de integração comumente utilizados em sistemas intensivos de software?
- **RQ2:** Quais atividades e etapas específicas estão tipicamente envolvidas no processo de integração de sistemas intensivos de software?
- **RQ3:** Quais são os principais desafios encontrados durante cada etapa do processo de integração em sistemas intensivos de software?

A estrutura PICOC foi utilizado conforme delineado nas diretrizes para revisões sistemáticas. A *string* de busca, apresentada na

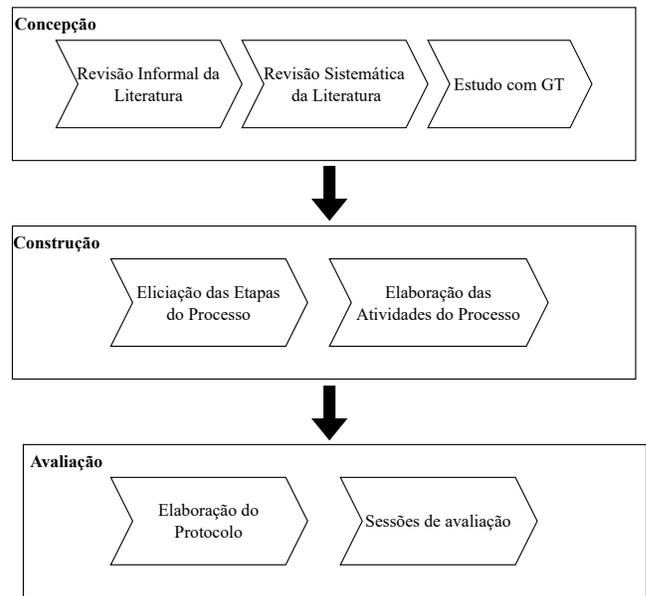


Figura 1: Método adotado, adaptado de Neto, Spínola e Travassos [5].

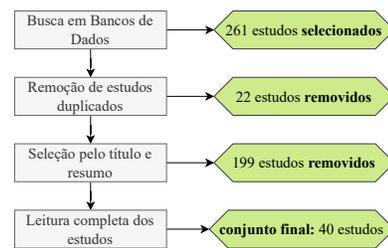


Figura 2: Processo de seleção de estudos primários.

Tabela 1, foi construída a partir da estrutura PICOC, utilizando o operador “OU” para separar sinônimos. Para as bases de dados de publicações, foram utilizadas a Scopus, Web of Science, IEEE Xplore e ACM Digital Library, conforme recomendado por Kitchenham e Charters [16]. Essas bases foram escolhidas por serem as mais comumente utilizadas para conduzir SLR. As buscas retornaram um total de 266 estudos. Após isso, 22 estudos duplicados foram removidos, resultando em 244 estudos. Posteriormente, os títulos e resumos dos estudos foram lidos, eventualmente sendo necessária a leitura de introdução e conclusão. Por fim, 204 estudos foram excluídos, resultando em um conjunto final de 40 estudos.

Como resultado, foram identificados os processos existentes na literatura (RQ1). Para responder à RQ2, foram analisados os processos e métodos dos estudos da RQ1. Como nenhum processo de integração foi definido explicitamente nos outros estudos, utilizou-se a codificação aberta para identificar atividades de integração. A codificação aberta é um processo analítico no qual os dados são examinados, comparados e categorizados. Envolve a decomposição dos dados em partes distintas e a análise minuciosa das mesmas para derivar rótulos conceituais [25]. Seguindo isso, essas atividades foram

**Tabela 1: String de busca utilizada no estudo.**


---

```
(("integration methodology"OR "integration process"
OR "integration technique"OR "integration tool"
OR "process model"OR "integration strategy"
OR "integration approach"OR "integration framework")
AND ("system integration"OR "application integration"
OR "software integration"OR "interoperability"OR
"enterprise integration"OR "large-scale system integration")
AND ("software-intensive system"OR
"large-scale software-intensive system"
OR "software system"OR "complex software system"
OR "large-scale system"))
```

---

categorizadas em quatro grupos distintos: (i) Conceito, (ii) Design, (iii) Desenvolvimento e (iv) Verificação e Validação (V&V). Por fim, respondendo à RQ3 foram identificados os principais desafios de cada etapa da integração.

## 4.2 Estudo com Profissionais da Indústria utilizando *Grounded Theory*

O objetivo deste estudo foi analisar as atividades realizadas durante projetos de integração a fim de identificá-las em termos de etapas, estratégias, desafios, ferramentas e lições aprendidas sob a perspectiva de profissionais de TI na indústria brasileira, dentro do contexto de SIIS. Com base nesse objetivo, foram elaboradas as seguintes questões de pesquisa:

- **RQ1:** Quais são as etapas realizadas durante a integração de SIIS?
- **RQ2:** Quais tecnologias, táticas, padrões e estilos arquitetônicos são utilizados para facilitar a integração de SIIS?
- **RQ3:** Quais são os principais problemas e desafios para garantir a interoperabilidade entre SIIS?

Optou-se pela entrevista como método de coleta de dados, especificamente uma entrevista semi-estruturada, por permitir a coleta de percepções e exploração dos assuntos estudados [24]. Além disso, foi realizada uma pesquisa online, utilizada para complementar os dados qualitativos das entrevistas. Essa abordagem, inspirada em Nelson et al. (2009) [21], ampliou o grupo de respondentes, capturando uma perspectiva mais ampla das práticas e tendências da indústria. A combinação de dados de entrevistas e pesquisas proporciona uma visão abrangente dos aspectos práticos das atividades de integração na indústria de SIIS. Por fim, **12 entrevistas** foram conduzidas de novembro de 2022 até fevereiro de 2023, totalizando **406 minutos de entrevistas gravadas, e 144 páginas de transcrição**. Além disso, foram obtidas **19 respostas no questionário online**.

**Considerações Éticas.** O formulário foi concebido com um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), dispensando apreciação de Comitê de Ética, por enquadrar-se na categoria *Pesquisa de opinião pública com participantes não identificáveis*, conforme o Ofício Circular No 17/2022/CONEP/SECNS/MS, de julho de 2022 e OFÍCIO CIRCULAR No 12/2023/CONEP/SECNS/DGIP/SE/MS.

Os dados transcritos das entrevistas foram analisados por meio de codificação aberta [3]. A codificação aberta é a etapa inicial no processo da GT que envolve a decomposição, exame, comparação e conceituação dos dados brutos. Durante a codificação aberta, os

dados são decompostos em partes discretas e examinados minuciosamente. Semelhanças e diferenças são identificadas e categorias iniciais são formuladas. Cada uma dessas partes discretas, que pode ser uma frase ou até uma única palavra, recebe um rótulo, ou *código*, que captura sua essência ou ideia temática central. A codificação aberta é um processo iterativo, com refinamento e desenvolvimento contínuos das categorias à medida que mais dados são coletados e codificados.

Cada entrevista gerou um conjunto de códigos que foram comparados, não apenas dentro da mesma entrevista, mas também contra códigos de outras entrevistas. A aplicação do método de comparação constante, um elemento chave da GT, permitiu o refinamento e desenvolvimento contínuos desses códigos. À medida que padrões emergiam, os códigos eram agrupados em categorias para estabelecer um nível mais alto de abstração [28]. A codificação axial, um passo subsequente no processo da GT, envolve a ligação dessas categorias formadas. O objetivo é construir um modelo coerente em torno de uma categoria central. Essa categoria é uma conceitualização mais ampla e abstrata que captura a essência dos conceitos relacionados [28].

Como resultado, foi proposto um modelo conceitual (RQ1) para explicar como os profissionais percebem o processo de integração, as principais categorias deste modelo, que expressam as etapas do processo foram: (i) etapa de análise, (ii) design de arquitetura, (iii) implementação, (iv) testes e (v) manutenção. Além disso, as principais tecnologias, ferramentas, estilos arquiteturais (RQ2) foram catalogados. Por fim, foi proposta uma taxonomia dos problemas de integração (RQ3) (todos os produtos desta etapa da pesquisa estão em apreciação por outros veículos, não sendo apresentados aqui por restrição de espaço).

## 5 SPPOI: PROCESSO DE INTEGRAÇÃO

Esta seção apresenta o SPPOI (do inglês, *Structured Process for Pattern-Oriented Integration*). A partir dos insumos colhidos nas etapas anteriores (SLR e GT), o processo SPPOI foi concebido. Cinco etapas principais compõem o processo de integração, servindo como a espinha dorsal para a integração de sistemas. De forma a estabelecer uma base metodológica sólida que pudesse ser facilmente compreendida e aplicada, as etapas foram inspiradas no modelo cascata de desenvolvimento de sistemas de software, podendo ser futuramente aprimorados para versões iterativas e/ou ágeis. Adicionalmente, para garantir uma modelagem processual clara e acessível, adotou-se a notação BPMN 2.0, amplamente reconhecida e utilizada na indústria. Vislumbra-se, para revisões futuras, a utilização do metamodelo SPEM (*Software & Systems Process Engineering Meta-Model*) [22], visando alinhar o SPPOI às melhores práticas e padrões globais em engenharia de processos de sistemas de software. Por fim, é importante ressaltar que os papéis envolvidos nas atividades foram omitidos por conta da diversidade organizacional. Tal decisão reconhece a variabilidade dos contextos nos quais o SPPOI pode ser aplicado, enfatizando a sua flexibilidade e adaptabilidade a diferentes estruturas organizacionais. O início é marcado pela **Etapa 1) Análise e planejamento da integração**, em que os requisitos e estratégias para a integração são estabelecidos. Segue-se para a **Etapa 2) Design da arquitetura da integração**, etapa na qual a arquitetura da integração é formulada. Posteriormente, na **Etapa 3) Desenvolvimento da integração**, a implementação

é realizada, envolvendo a concretização da arquitetura planejada em soluções funcionais. Após o desenvolvimento, as atividades de **Verificação e Validação (Etapa 4)** são executadas, garantindo que a integração atenda aos critérios de qualidade e requisitos estabelecidos. Finalmente, a **Etapa 5) Manutenção** é alcançada, em que a solução integrada é continuamente aperfeiçoada e adaptada às necessidades em evolução. Este processo proposto visa assegurar uma integração sistemática e eficaz dos SIISs. Nas próximas seções as etapas serão aprofundadas e discutidas separadamente.

### 5.1 Análise e planejamento da integração.

A etapa de análise e planejamento constitui a fundação do processo de integração. Conforme ilustrado na Figura 3, esta etapa inicia-se com uma avaliação das demandas de negócio que fomentam a integração. Esta tarefa é essencial para a compreensão dos requisitos específicos e para a identificação de desafios iniciais, como potenciais problemas organizacionais e de processo que possam afetar a integração. Durante esta etapa, as atividades centrais incluem a análise de requisitos e o entendimento dos sistemas envolvidos, que é fundamental para assegurar que todas as necessidades de integração sejam efetivamente mapeadas e compreendidas.

Entrevistas com *stakeholders* são cruciais para capturar visões diversas e garantir que a documentação reflita todas as perspectivas relevantes. Esta abordagem iterativa questiona se ainda há pontos a serem esclarecidos, o que pode resultar em mais rodadas de documentação. A análise subsequente das interfaces e a documentação relacionada permitem o mapeamento preciso dos atributos dos sistemas. Além disso, a análise dos adaptadores, bem como a possibilidade de reutilização, são passos importantes para a estruturação de um plano de integração robusto e adaptável.

### 5.2 Design da arquitetura da integração

Uma vez estabelecidos os requisitos, a documentação das interfaces, adaptadores e traduções necessárias, a etapa seguinte envolve o design da arquitetura da integração. A Figura 4 delinea esta etapa, onde as considerações sobre a estrutura e a organização da integração são determinadas. Assim, com toda a documentação e entendimentos obtidos na etapa de análise, inicia-se a atividade da revisão dos documentos. O resultado desta revisão é a criação de uma documentação estruturada de alto nível da integração projetada. Para garantir que a arquitetura atenda aos requisitos não funcionais, atributos de qualidade são definidos e priorizados. Em seguida, com base nos atributos de qualidade estabelecidos, a escolha dos estilos arquiteturais é iniciada, podendo incluir opções como microsserviços, *Service-Oriented Architecture* (SOA), *Event-Driven Architecture* (EDA), entre outros.

Posteriormente, a determinação dos padrões de integração a serem utilizados é iniciada pelos arquitetos. Com a observação de que, apesar de os padrões de integração terem sido propostos há mais de uma década, sua utilização por profissionais de integração é limitada, e muitos não os conhecem [8]. Para enfrentar esse desafio, foram elaboradas cinco Matrizes de Correspondência de Padrões (MCP). Estas tabelas servem como um guia para que os arquitetos possam identificar e aplicar os padrões de integração mais relevantes aos problemas enfrentados. As subseções a seguir detalharão cada uma dessas cinco tabelas, explorando as diversas categorias de padrões de integração disponíveis.

**MCP 1: Padrões de Transformação.** A transformação de mensagens é uma necessidade comum em integrações, onde dados de diferentes fontes devem ser padronizados, enriquecidos ou simplificados para uma comunicação eficaz. A Tabela 2 apresenta padrões como o *Canonical Data Model*, que unifica formatos de mensagem divergentes, e o *Content Enricher*, que complementa mensagens com informações adicionais. Cada padrão é desenhado para enfrentar desafios específicos de transformação, garantindo que as mensagens sejam compreensíveis e úteis para todos os sistemas receptores.

Cenário/Requisito	Padrão Recomendado
Padronizar o formato da mensagem entre diferentes fontes?	Canonical Data Model
Adicionar informações extras de outra fonte à mensagem?	Content Enricher
Simplificar a mensagem removendo determinado conteúdo?	Content Filter
Armazenar uma parte da mensagem e recuperá-la mais tarde?	Claim Check
Transformar formatos de mensagem variados para um padrão?	Normalizer
Envelopar uma mensagem com metadados adicionais ou por motivos de protocolo?	Envelope Wrapper

**Tabela 2: Padrões de transformação.**

**MCP 2: Padrões de Roteamento.** O roteamento é vital para direcionar mensagens corretamente através da arquitetura de integração. A Tabela 3 lista padrões como *Content-Based Router*, que direciona mensagens com base no seu conteúdo, e *Dynamic Router*, que adapta o roteamento a condições variáveis. Esses padrões permitem uma distribuição inteligente das mensagens, assegurando que cada uma alcance seu destino pretendido da maneira mais eficiente possível.

**MCP 3: Canais de Mensagens.** Canais de mensagens formam as vias por onde as mensagens trafegam, e a sua correta implementação é fundamental para evitar congestionamentos e garantir a entrega. A Tabela 4 destaca opções como *Publish-Subscribe Channel*, que dissemina mensagens para múltiplos assinantes simultaneamente, e *Point-to-Point Channel*, que assegura uma entrega única e

Cenário/Requisito	Padrão Recomendado
Rotear uma mensagem com base em seu conteúdo?	Content-Based Router
Filtrar certas mensagens com base em critérios específicos?	Message Filter
Rotear mensagens dinamicamente com base em condições que podem mudar?	Dynamic Router
Enviar uma mensagem para múltiplos destinatários?	Recipient List
Dividir uma mensagem composta em partes individuais?	Splitter
Combinar respostas de múltiplas mensagens em uma única mensagem?	Aggregator
Reorganizar a sequência de mensagens?	Resequencer
Lidar com diferentes tipos de mensagem e transformá-las de acordo?	Composed Msg. Processor
Transmitir uma mensagem para múltiplos destinatários e agregar as respostas?	Scatter-Gather
Processo sequencial onde uma mensagem passa por múltiplas etapas de processamento?	Routing Slip
Gerenciar um processo complexo onde mensagens podem resultar em novas mensagens sendo emitidas, ou mudar o estado do processo?	Process Manager
Intermediário que possa mediar, transformar e rotear mensagens entre múltiplas aplicações?	Message Broker

**Tabela 3: Padrões de roteamento.**

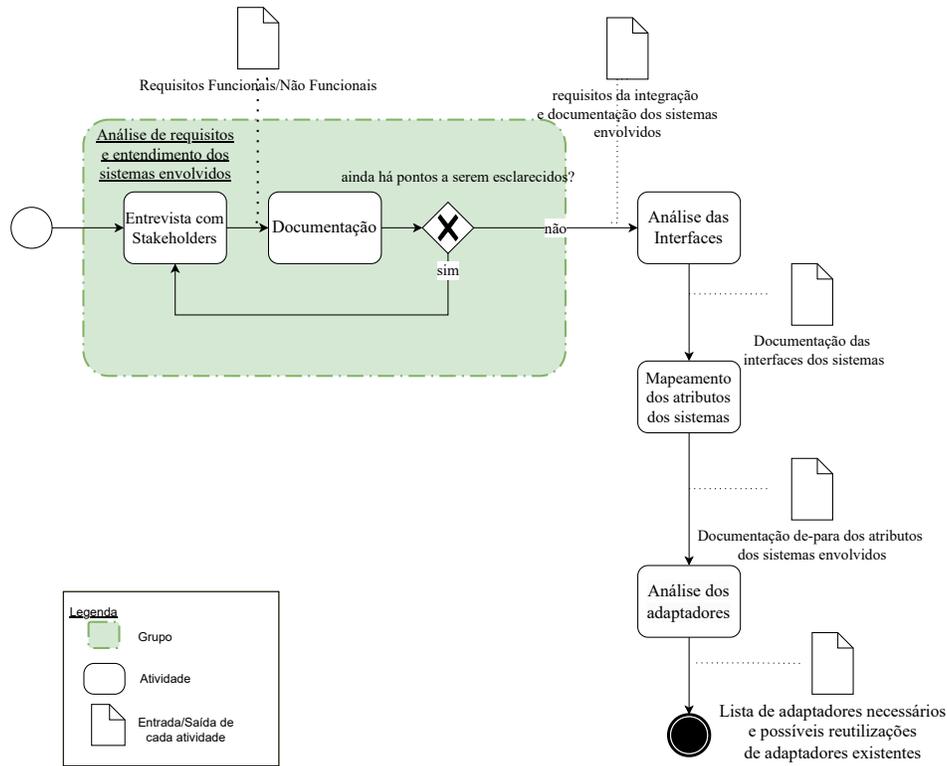


Figura 3: Atividades da etapa de análise e planejamento da integração.

confiável. A escolha do canal adequado é decisiva para a eficácia da comunicação entre os sistemas envolvidos na integração.

Cenário/Requisito	Canal Recomendado
Garantir que uma mensagem seja processada apenas uma vez por um único consumidor?	Point-to-Point Channel
Transmitir mensagens para múltiplos assinantes?	Publish-Subscribe Channel
Filtrar mensagens com base em seu tipo de dado?	Datatype Channel
Lidar com mensagens que não estão em conformidade com um determinado formato?	Invalid Message Channel
Lidar com mensagens que não podem ser processadas com sucesso?	Dead Letter Channel
Garantir que as mensagens sejam entregues mesmo se o sistema falhar?	Guaranteed Delivery
Conectar o sistema de mensagens a sistemas externos sem grandes mudanças?	Channel Adapter
Vincular dois sistemas ou canais de mensagens separados?	Messaging Bridge
Sistema centralizado para gerenciar a comunicação entre múltiplas aplicações?	Message Bus

Tabela 4: Padrões de canais de mensagem.

**MCP 4: Construção de Mensagens.** Construir mensagens de forma correta é importante para a troca de informações. A Tabela 5 inclui padrões como *Command Message*, para instruções claras de ação, e *Event Message*, para notificar sistemas sobre eventos. A construção de mensagens influencia diretamente a clareza da comunicação e a capacidade de resposta dos sistemas integrados. Estes

padrões são importantes para definir a intenção da comunicação, permitindo que o receptor interprete e aja de acordo com a mensagem recebida. O padrão *Request-Reply*, por exemplo, é fundamental em operações síncronas onde uma resposta imediata é necessária, enquanto o *Message Expiration* é crucial em situações onde as mensagens têm um prazo de validade relevante para a operação.

Cenário/Requisito	Padrão Recomendado
Instruir um sistema a executar uma ação ou comando específico?	Command Message
Enviar dados ou documentos sem exigir uma resposta?	Document Message
Notificar o sistema sobre uma mudança ou ocorrência?	Event Message
Resposta do receptor com base em uma mensagem enviada?	Request-Reply
Especificar onde as mensagens de resposta devem ser retornadas?	Return Address
Associar uma resposta com seu pedido ou relacionar mensagens?	Correlation Identifier
Ordenar um conjunto de mensagens ou garantir que sejam processadas em sequência?	Message Sequence
Mensagens serem consideradas inválidas ou expirarem após um certo tempo?	Message Expiration
Indicar o formato do conteúdo da mensagem para o receptor?	Format Indicator

Tabela 5: Padrões de construção de mensagem.

**MCP 5: Pontos de Integração de Mensagens.** Os padrões de Pontos de Integração de Mensagens, apresentados na Tabela 6, são importantes para gerenciar o fluxo de mensagens, assegurando que

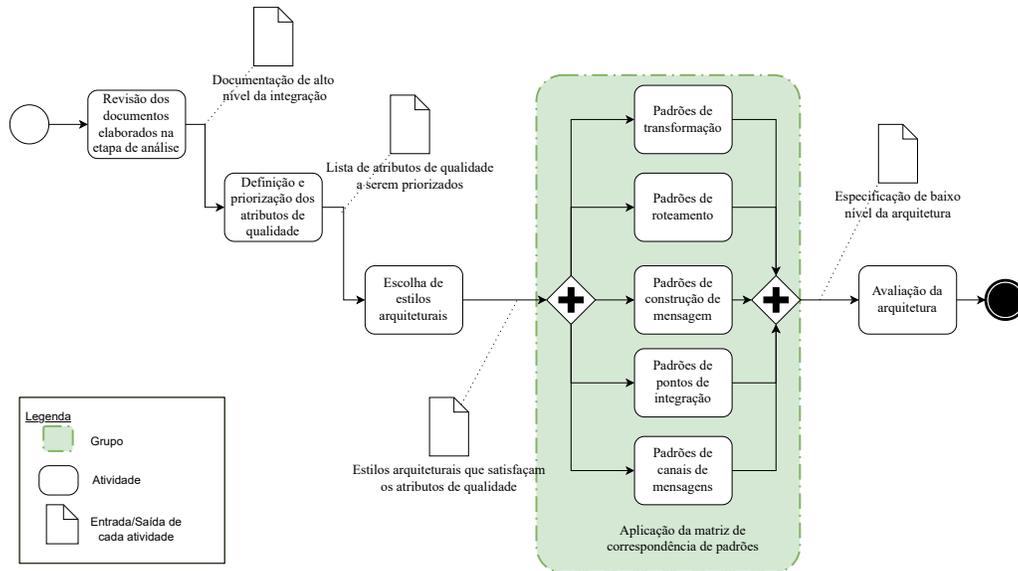


Figura 4: Atividades que constituem a etapa de design da arquitetura da integração.

as mensagens sejam consumidas e produzidas de forma apropriada. Por exemplo, padrões como *Messaging Gateway*, que simplifica a complexidade do código de mensagens no sistema cliente, e *Transactional Client*, que garante que as mensagens possam ser parte de transações atômicas, mantendo a integridade dos processos de negócios. Além disso, padrões como *Event-Driven Consumer* e *Competing Consumers* ajudam a escalar o processamento de mensagens, permitindo um consumo eficiente e distribuído das mensagens, que é crucial em sistemas com alta demanda e volume de dados.

Cenário/Requisito	Padrão Recomendado
Encapsular a mensageria em uma única operação?	Messaging Gateway
Traduzir mensagens de um formato para outro?	Messaging Mapper
Garantir que o cliente possa participar com segurança em transações?	Transactional Client
Necessidade de solicitar ativamente mensagens de uma fonte conforme um cronograma?	Polling Consumer
Reagir imediatamente às mensagens assim que elas chegam?	Event-Driven Consumer
Escalar o processamento de mensagens para vários consumidores?	Competing Consumers
Rotear mensagens para um de muitos destinos?	Message Dispatcher
Selecionar mensagens com base em critérios específicos?	Selective Consumer
Garantir que um assinante receba todas as mensagens, mesmo quando inativo?	Durable Subscriber
Lidar com mensagens duplicadas sem efeitos colaterais?	Idempotent Receiver

Tabela 6: Padrões de pontos de integração de mensagem.

Por fim, na atividade de avaliação da arquitetura, a existência de múltiplas abordagens é reconhecida, incluindo métodos estruturados como ATAM e SAM. No entanto, a adoção de uma abordagem qualitativa orientada a especialistas para a avaliação arquitetural é enfatizada. Essa escolha é justificada pela agilidade e flexibilidade necessárias nos diversos ambientes de integração de sistemas e contextos organizacionais onde o SPPOI pode ser aplicado.

### 5.3 Desenvolvimento da integração

Com um design e uma descrição da arquitetura em mãos, o desenvolvimento da integração começa. Aqui, a arquitetura é transformada em realidade prática. O resultado são sistemas completamente integrados. No entanto, é crucial monitorar problemas de desempenho que podem surgir, garantindo que o sistema integrado opere de maneira otimizada. A Figura 5 ilustra o processo de desenvolvimento da integração de sistemas, apresentando as tarefas sequenciais. O processo inicia-se com a “Revisão da arquitetura e documentações”, onde verifica-se se a estrutura projetada e os documentos produzidos vão demandar a implementação de adaptadores. Segue-se um *gateway* de decisão que questiona a necessidade de implementação de adaptadores. Se afirmativo, procede-se à “Codificação de adaptadores”. Concluída esta etapa, ou se não houver necessidade de adaptadores, o processo avança para a “Implementação de padrões de integração”. Posteriormente, são conduzidos “Testes de Integração” para verificar se os sistemas integrados comunicam-se corretamente e se atendem aos requisitos estabelecidos. Após os testes, realiza-se a “Análise de Desempenho” para avaliar o funcionamento do sistema sob várias condições e cargas, assegurando que a integração atenda aos padrões de desempenho esperados. Finalmente, o processo culmina na “Implantação”, do sistema integrado em ambiente de produção.

A inclusão de práticas de Integração Contínua (CI) e Entrega Contínua (CD) neste processo é fundamental. CI/CD permitem a integração e entrega automáticas e frequentes de mudanças, o que é importante para a agilidade e a redução de riscos no desenvolvimento da integração. Com CI, a cada mudança no código, o sistema é automaticamente construído, testado e validado, garantindo que as integrações sejam sempre consistentes. Já o CD se encarrega da implantação automática para os ambientes de testes e produção, assegurando que o sistema integrado possa ser rapidamente atualizado e mantido.

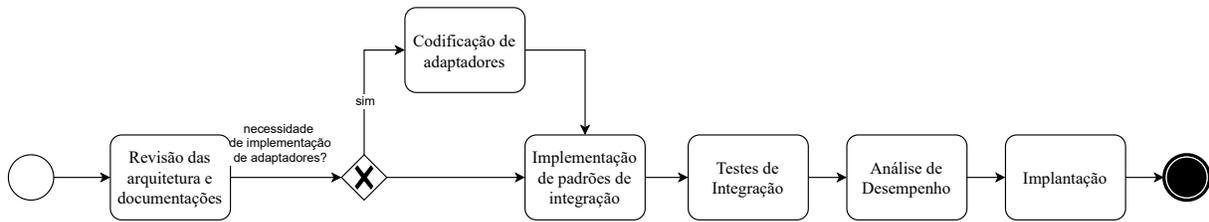


Figura 5: Atividades que constituem a etapa de desenvolvimento da integração.

## 5.4 Verificação e Validação

O objetivo aqui é garantir que o sistema integrado não apenas atenda às especificações técnicas, mas também satisfaça as necessidades do usuário final. A Figura 6 apresenta as tarefas deste etapa, o processo inicia-se com a definição de objetivos de V&V que estejam alinhados com os requisitos do sistema. Esses objetivos servem como a base para o desenvolvimento subsequente de casos de teste, representados no próximo passo. Após a geração dos casos de teste, o próximo passo é a configuração dos ambientes de teste que emulem o ambiente de produção. Isso é crucial para garantir que os testes reflitam o comportamento do sistema em condições reais de operação. O passo seguinte envolve a preparação dos dados de teste, que devem ser representativos de todas as operações do sistema integrado para assegurar uma cobertura de teste abrangente. Com os casos e dados de teste prontos, o processo segue para a execução dos testes, onde os casos de teste são aplicados e os resultados são coletados. Finalmente, a avaliação dos resultados é realizada para determinar se o sistema atende aos critérios estabelecidos e se está pronto para a implantação. Este passo final é importante para garantir que todos os aspectos do sistema integrado funcionem conforme esperado antes de serem lançados em um ambiente de produção.

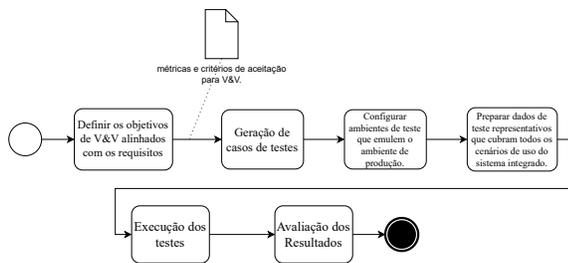


Figura 6: Atividades que constituem a etapa de verificação e validação da integração.

## 5.5 Manutenção

A etapa de manutenção é importante para garantir a sustentabilidade e a evolução contínua dos sistemas integrados após uma implementação e validação bem-sucedidas. Esta etapa é dedicada não apenas à correção de defeitos mas também ao aprimoramento contínuo através de atualizações e refinamentos. À medida que o negócio evolui, pode ser necessário estender ou modificar a integração para acomodar novos requisitos ou melhorar a eficiência operacional. A Figura 7 apresenta o fluxo da manutenção da integração. O processo começa com a "Monitoria da Integração", que é um monitoramento constante em tempo real da integração. Caso

seja alarmado um problema, o diagnóstico é feito. Dessa forma, caso a mitigação deste problema seja fácil pode-se iniciar a mitigação imediata. Caso contrário, se a mitigação não for direta, cria-se uma tarefa detalhada para o time de desenvolvimento, onde o problema é documentado e encaminhado para uma análise mais aprofundada e correção detalhada pela equipe de desenvolvimento. Após a criação da tarefa, o processo continua com a execução da correção", onde a equipe de desenvolvimento implementa a solução para o problema. Uma vez que a correção é aplicada, ela é seguida por um teste da correção para garantir que o problema foi efetivamente resolvido e que não surgiram novos problemas como resultado da mudança.

## 6 AVALIAÇÃO DO PROCESSO

Sabe-se que a avaliação de processos é sempre uma atividade complexa e onerosa. Ademais, a diversidade de variáveis envolvidas e do caráter dinâmico dos ambientes organizacionais onde este tipo de processo pode ser adotado e aplicado também são fatores que intensificam a complexidade de avaliação de um processo desta natureza [30]. Dadas tais restrições, a avaliação qualitativa foi escolhida como a abordagem mais apropriada, sustentada por um conjunto de evidências empíricas oriundas de práticas rigorosas. Essas evidências foram coletadas por meio de um estudo GT, onde padrões e conceitos emergiram diretamente das experiências e relatos dos participantes. Adicionalmente, uma SLR foi executada, consolidando as práticas rigorosas e as teorias existentes no domínio da integração de sistemas. Este corpo de conhecimento empírico oferece a base sólida necessária para sustentar a validade da avaliação qualitativa proposta.

### 6.1 Protocolo de Avaliação

De forma a avaliar o processo SPPOI, um protocolo com as seguintes etapas foi construído:

**Seleção de Participantes:** Convocação de sete profissionais com experiência comprovada em integração de sistemas.

**Preparação do Material de Avaliação:** Desenvolvimento de um conjunto de materiais explicativos sobre o processo SPPOI, incluindo documentação detalhada e o diagrama BPMN.

**Sessões de Avaliação:** Realização de sessões individuais com cada profissional, onde o processo foi apresentado e discutido detalhadamente. As sessões incluem a demonstração de como o processo endereça diferentes cenários de integração e a coleta de *feedback* direto.

**Coleta de Dados:** Utilização de questionários, utilizando escalas de Likert, para capturar as percepções dos profissionais sobre a utilidade, eficiência e abrangência do processo.

**Análise dos Dados:** Emprego métodos estatísticos apropriados para dados quantitativos. As respostas baseadas em escala Likert

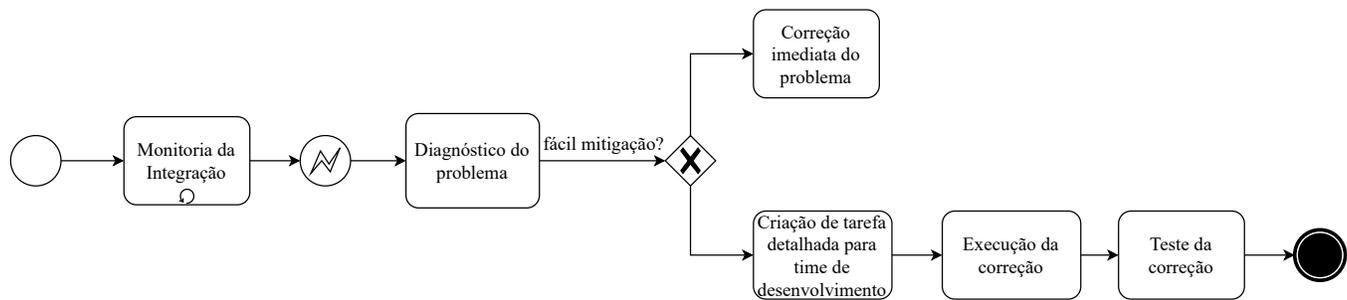


Figura 7: Atividades que constituem a etapa de manutenção da integração.

permitiram uma avaliação numérica das percepções dos participantes sobre o processo SPPOI.

**Relatório de Avaliação:** Consolidação dos dados coletados em um relatório que resume as opiniões dos profissionais, destaca o potencial do processo e sugere melhorias com base nas sugestões recebidas.

## 6.2 Resultado da Avaliação

Para esta nova etapa do estudo (após SLR, entrevistas e *survey*), a análise foi realizada com o *feedback* de sete profissionais<sup>8</sup>. Ainda que o número de participantes seja baixo, é importante alertar para outros estudos em veículos importantes com números semelhantes, como em Kudo et al. (com 5 participantes) [17] e Fernandes et al. [7] (com 4 participantes) e Gobert et al [13] (com 4 participantes). Este tipo de fenômeno acontece quando o ramo de conhecimento do estudo é altamente especializado, ocasionando falta de especialistas ou mesmo poucos profissionais qualificados na indústria. Ademais, um número grande de especialistas (31) já havia sido recrutada nas etapas anteriores deste estudo; uma nova participação dos mesmos especialistas naturalmente enviesaria os resultados. Não obstante, é importante destacar que o artefato proposto aqui (SPPOI) foi concebido com base em um lastro de procedimentos baseados em evidência e com avaliação prévia de especialistas também, reduzindo as ameaças referentes à verossimilhança (isto é, correspondência entre os passos eliciados e o que ocorre na realidade) do artefato comunicado.

Os resultados revelam uma recepção positiva ao processo SPPOI, com avaliações que enfatizam sua utilidade, eficiência e aplicabilidade prática. Tais resultados preliminares são promissores e indicam um alinhamento bem-sucedido do SPPOI com as necessidades do campo. Para o futuro, planeja-se expandir a avaliação para um número maior de profissionais e implementar um estudo de caso em um projeto real de integração, o que proporcionará uma compreensão mais profunda da eficácia do processo em um contexto prático e diversificado.

## 6.3 Ameaças à Validade

**Validade Externa.** A escolha dos participantes e o contexto específico dos estudos primários podem limitar a aplicabilidade dos resultados a outros contextos e ambientes. Para aliviar esta ameaça, na SLR múltiplos bancos de dados foram consultados. No que

<sup>8</sup>A caracterização das personas envolvidas no estudo não é realizada também por restrições de espaço; estudos futuros e extensões vão detalhar os perfis dos respondentes.

tange ao estudo qualitativo com GT, foram selecionados participantes com diferentes funções, tempo de experiência e diferentes contextos organizacionais.

**Validade Interna.** No contexto das entrevistas e pesquisas, o viés de confirmação e a subjetividade dos participantes podem ter afetado as respostas. Além disso, a interpretação dos dados, especialmente no que tange à análise qualitativa empregando GT, pode estar sujeita à interpretação dos pesquisadores, potencialmente introduzindo vieses pessoais ou conceituais. Para mitigar essa ameaça, aderiu-se estritamente aos procedimentos de codificação da GT e foram revisadas as interpretações várias vezes.

**Validade de Construção.** No estudo de GT, houve dependência significativa em relação às percepções e experiências dos profissionais entrevistados, o que poderia ter levado a vieses pessoais e interpretações subjetivas influenciando os resultados. Entretanto, foi buscada a minimização dessa ameaça por meio da realização de múltiplas entrevistas em diversos contextos organizacionais e funções, assegurando assim uma extensa variedade de experiências e perspectivas. Por outro lado, na SLR, isso se manifesta no desenho da *string* de busca e na confiabilidade da extração de dados. Para mitigar estas ameaças, aderiu-se sistematicamente aos critérios PICOC durante a formulação da *string* de busca.

**Validade de Conclusão.** No desenvolvimento do processo SPPOI, baseado nos resultados da GT e da SLR, reconhece-se que a interpretação subjetiva inerente à GT pode influenciar as conclusões. Por sua natureza, este processo está fundamentado em contextos específicos estudados, limitando potencialmente sua aplicabilidade em cenários distintos. No entanto, a integração da GT com a SLR busca equilibrar as perspectivas teóricas com insights práticos, fortalecendo a relevância do SPPOI.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A principal contribuição deste trabalho é a elaboração de um processo baseado em evidência para a integração de Sistemas de Informação Intensivos em Software (SIIS), que absorve e refina os conhecimentos acumulados na área de Integração de Aplicações Empresariais nas últimas décadas juntamente com o conhecimento prático de profissionais experientes na área de integração. O SPPOI é composto por cinco etapas essenciais: (i) análise; (ii) design da arquitetura; (iii) implementação; (iv) verificação e validação; e (v) manutenção. Dessa forma, oferece um caminho estruturado para abordar e mitigar desafios comuns de integração. Além disso, o

SPPOI introduz matrizes de correspondência de padrões de integração, que orienta os arquitetos na escolha de padrões de integração adaptados a cenários específicos.

Este processo não apenas avança o entendimento prático e teórico na área de integração de SIIS, mas também estabelece as bases para futuras inovações. Salienta-se ainda que os resultados comunicados aqui possuem potencial para contribuir em dois dos **Grandes Desafios em Sistemas de Informação no Brasil para a Década de 2016 - 2026**. Sob uma perspectiva, o estabelecimento do processo é uma primeira etapa rumo à sua automatização, contribuindo para que o estabelecimento de *links* de interoperabilidade entre sistemas possa se dar de forma instantânea, espontânea e automatizada, como idealizado para o que se entende como **Sistemas-de-Sistemas de Informação (SoIS)** [14]. Em acréscimo, o processo também pode contribuir para trazer avanços futuros na esteira da **Interoperabilidade Plena**, contribuindo para que a interoperabilidade entre sistemas se dê de modo integral [19].

Como trabalhos futuros, vislumbra-se estender o processo ao contexto de SoIS e investigar a automação do processo para alcançar a criação de links de interoperabilidade dinâmicos. Neste contexto, a Inteligência Artificial (IA) surge como um vetor promissor para preencher lacunas de interoperabilidade semântica, algoritmos de aprendizado de máquina e processamento de linguagem natural podem ser aplicados para interpretar e mapear automaticamente as interfaces dos sistemas. Assim, incorporar a IA no SPPOI não somente pode elevar o nível de automação, mas também a adaptabilidade e a precisão da integração de sistemas, pavimentando o caminho para uma interoperabilidade inteligente e adaptativa. Além disso, a avaliação do processo por meio de um estudo de caso constituirá uma etapa importante para validar e aprimorar o SPPOI. Espera-se que este processo possa ser utilizado não somente por profissionais da indústria para conceber soluções de integração mais eficientes, mas também que sirva como base para a automação destas tarefas, pavimentando, desta forma, a implementação de SIIS voltados à garantia de interoperabilidade plena.

## REFERÊNCIAS

- [1] 2015. ISO/IEC 2382:2015 Information technology – Vocabulary. <https://www.iso.org/standard/63598.html> Accessed: 2023-10-07.
- [2] Priscilla Elizabeth Pereira Batista, Cassio Leonardo Rodrigues, Valdemar Vicente Graciano Neto, and Mohamad Kassab. 2022. ARC-SoISE: Towards a Reference Architecture for Constituents of Educational Systems-of-Information Systems. In *SOSE '22* (Rochester, NY, USA). IEEE Press, 142–147.
- [3] Juliet Corbin and Anselm Strauss. 2015. *Basics of Qualitative Research: Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory*. Sage publications.
- [4] Murilo Gustavo Nabarrete Costa, Débora Maria Barroso Paiva, and Maria Istela Cagnin. 2022. How Are the Interoperability Requirements Addressed in the Systems-of-Systems Context? (*SBSI '22*). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 13, 8 pages.
- [5] Arilo Claudio Dias-Neto, R Spinola, and Guilherme Horta Travassos. 2010. Developing software technologies through experimentation: experiences from the battlefield. In *XIII Ibero-American conference on software engineering*.
- [6] Juliana Fernandes, Felipe Cordeiro, Francisco Ferreira, Valdemar Vicente Graciano Neto, and Rodrigo Pereira dos Santos. 2022. A Method for Identification of Potential Interoperability Links between Information Systems towards System-of-Information Systems. *iSys - Brazilian Journal of Information Systems* 15, 1 (Oct. 2022), 2:1–2:26.
- [7] Juliana Fernandes, Francisco Ferreira, Felipe Cordeiro, Valdemar Graciano Neto, and Rodrigo Santos. 2020. How can interoperability approaches impact on systems-of-information systems characteristics?. In *XVI SBSI*. 1–8.
- [8] Andrey Gonçalves França, Rafael Z. Frantz, and Valdemar Vicente Graciano Neto. 2023. Software-Intensive Systems Integration Processes Towards Real Systems-of-Systems: An Investigation in the Practice of Brazilian Companies. *Journal of Software: Evolution and Process* (2023). Submetido em análise.
- [9] Andrey Gonçalves França, Wellington Santos Martins, Rafael Z. Frantz, and Valdemar Vicente Graciano Neto. 2023. Software-intensive System Integration Processes: A Systematic Literature Review. *Int. J. of Computer Applications in Technology* (2023). Submetido em análise.
- [10] Rafael Z. Frantz, Rafael Corchuelo, Vitor Basto-Fernandes, Fernando Rosa-Sequeira, Fabricia Roos-Frantz, and José L. arjona. 2021. A Cloud-Based Integration Platform for Enterprise Application Integration: a Model-Driven Engineering Approach. *Software - Practice and Experience* 51, 4 (2021), 824–847.
- [11] R. Z. Frantz, R. Corchuelo, and F. Roos-Frantz. 2016. On the design of a maintainable software development kit to implement integration solutions. *Journal of Systems and Software* 111, 1 (2016), 89–104.
- [12] Rafael Z Frantz, Antonia M Reina Quintero, and Rafael Corchuelo. 2011. A domain-specific language to design enterprise application integration solutions. *International Journal of Cooperative Information Systems* 20, 02 (2011), 143–176.
- [13] Maxime Gobert, Csaba Nagy, Henrique Rocha, Serge Demeyer, and Anthony Cleve. 2021. Challenges and Perils of Testing Database Manipulation Code. In *Advanced Information Systems Engineering (CAiSE)*, Marcello La Rosa, Shazia Sadiq, and Ernest Teniente (Eds.). Springer, Cham, 229–245.
- [14] Valdemar Vicente Graciano Neto, Flavio Oquendo, and Elisa Yumi Nakagawa. 2017. *Grand Challenges for Information Systems in Brazil for the Decade 2016-2026*. SBC, Chapter Smart Systems-of-Information Systems: Foundations and an Assessment Model for Research Development.
- [15] Gregor Hohpe and Bobby Woolf. 2004. *Enterprise Integration Patterns: Designing, Building, and Deploying Messaging Solutions*. Addison-Wesley Professional.
- [16] Barbara Kitchenham, Stuart Charters, et al. 2007. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering.
- [17] Taciana Novo Kudo, Renato de Freitas Bulcão-Neto, Valdemar Vicente Graciano Neto, and Auri Marcelo Rizzo Vincenzi. 2023. Aligning requirements and testing through metamodeling and patterns: design and evaluation. *Requir. Eng.* 28, 1 (2023), 97–115. <https://doi.org/10.1007/S00766-022-00377-5>
- [18] Wing Lam and Venky Shankaraman. 2004. An enterprise integration methodology. *IT professional* 6, 2 (2004), 40–48.
- [19] Rita Suzana P Maciel, José Maria N David, Daniela Claro, and Regina Braga. 2017. *Grand Challenges for Information Systems in Brazil for the Decade 2016-2026*. SBC, Chapter Full interoperability: Challenges and opportunities for future information systems.
- [20] Thomas Mazzuchi and Ghazi Albakri. 2011. System of Systems Engineering Facilitates Integration of Large Scale Complex Systems. In *INCOSE International Symposium*, Vol. 21. Wiley Online Library, 811–855.
- [21] Nicholas Nelson, Caius Brindescu, Shane McKee, Anita Sarma, and Danny Dig. 2019. The life-cycle of merge conflicts: processes, barriers, and strategies. *Empirical Software Engineering* 24 (2019), 2863–2906.
- [22] SPEM OMG and O Notation. 2008. Software & systems process engineering meta-model specification. *OMG Std., Rev 2* (2008), 18–71.
- [23] Hervé Panetto. 2007. Towards a classification framework for interoperability of enterprise applications. *IJCIM* 20, 8 (2007), 727–740.
- [24] Per Runeson and Martin Höst. 2009. Guidelines for conducting and reporting case study research in software engineering. *Empirical software engineering* 14 (2009), 131–164.
- [25] Johnny Saldaña. 2021. *The coding manual for qualitative researchers*. SAGE, 3–14 pages.
- [26] Kécia Souza Santana Santos, Larissa Barbosa Leoncio Pinheiro, and Rita Suzana Pitangueira Maciel. 2021. Interoperability Types Classifications: A Tertiary Study. In *SBSI 2021*. ACM, Uberlândia, Brazil, 19:1–19:8.
- [27] K Smojver, H Belani, and Z Car. 2009. Building a hybrid process model for a complex software system integration. In *10th ICT*. IEEE, 147–153.
- [28] Anselm Strauss and Juliet Corbin. 1998. *Basics of qualitative research techniques*. (1998).
- [29] Paulo Gabriel Teixeira, Bruno Gabriel Araújo Lebtag, Rodrigo Pereira dos Santos, Juliana Fernandes, Ahmad Mohsin, Mohamad Kassab, and Valdemar Vicente Graciano Neto. 2020. Constituent System Design: A Software Architecture Approach. In *ICSA-C '20*. 218–225.
- [30] Michael Unterkalmsteiner, Tony Gorschek, AKM Moinul Islam, Chow Kian Cheng, Rahadian Bayu Permadi, and Robert Feldt. 2011. Evaluation and measurement of software process improvement—a systematic literature review. *IEEE Transactions on Software Engineering* 38, 2 (2011), 398–424.
- [31] Pedro Henrique Dias Valle, Lina Garcés, and Elisa Yumi Nakagawa. 2019. A Typology of Architectural Strategies for Interoperability. In *SBCARS '19*, Vol. 13. 3–12.
- [32] Pedro Henrique Dias Valle, Lina Garcés, and Elisa Yumi Nakagawa. 2021. Architectural strategies for interoperability of software-intensive systems: practitioners' perspective. In *SAC '21*. 1399–1408.
- [33] Geoff Walsham. 2013. Integrated health information architecture: power to the users.
- [34] Georg Weichhart and Dominik Wachholder. 2014. On the interoperability contributions of S-BPM. In *S-BPM ONE '14*. Springer, 3–19.