UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA – CCET
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA – PPGI

UMA ABORDAGEM BASEADA EM MODELAGEM CONCEITUAL PARA COMPREENDER FATORES QUE INFLUENCIAM INTEROPERABILIDADE EM SISTEMAS-DE-SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Juliana Costa Fernandes

Orientador
Rodrigo Pereira dos Santos
Co-orientador
Valdemar Vicente Graciano Neto

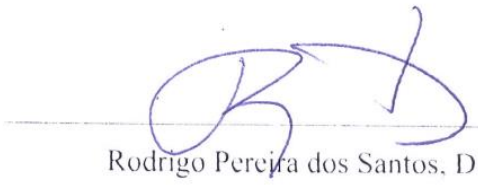
RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
FEVEREIRO DE 2020

UMA ABORDAGEM BASEADA EM MODELAGEM CONCEITUAL PARA COMPREENDER FATORES QUE INFLUENCIAM INTEROPERABILIDADE EM SISTEMAS-DE-SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

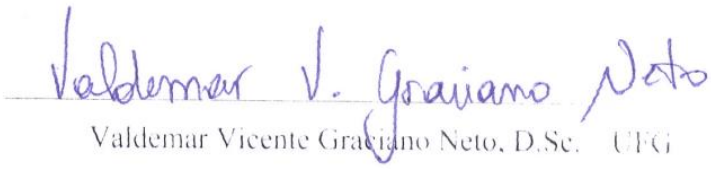
Juliana Costa Fernandes

DISSERTAÇÃO APRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (UNIRIO). APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA ABAIXO ASSINADA.

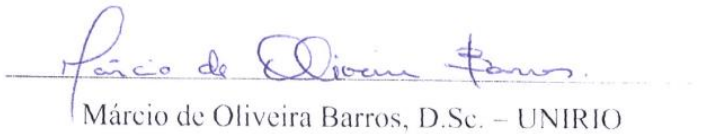
Aprovada por:



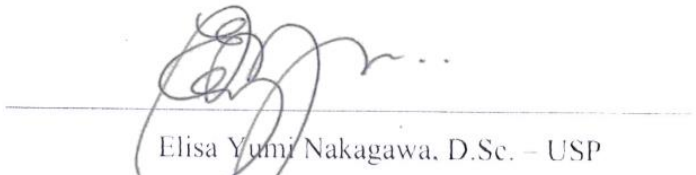
Rodrigo Pereira dos Santos, D.Sc. – UNIRIO



Valdemar Vicente Graciano Neto, D.Sc. – UFG



Márcio de Oliveira Barros, D.Sc. – UNIRIO



Elisa Yumi Nakagawa, D.Sc. – USP

Rita Suzana Pitangueira Maciel, D.Sc. – UFBA

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

FEVEREIRO DE 2020

Catalogação informatizada pelo(a) autor(a)

C363 Costa Fernandes, Juliana
Uma Abordagem Baseada em Modelagem Conceitual para Compreender Fatores que Influenciam Interoperabilidade em Sistemas-de-Sistemas de Informação / Juliana Costa Fernandes. -- Rio de Janeiro, 2020.
180 f

Orientador: Rodrigo Pereira dos Santos.
Coorientador: Valdemar Vicente Graciano Neto.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Informática, 2020.

1. Interoperabilidade. 2. Sistemas-de-Sistemas de Informação. 3. Modelagem. 4. Fatores de Influência. I. Pereira dos Santos, Rodrigo, orient. II. Vicente Graciano Neto, Valdemar, coorient. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores Rodrigo Pereira dos Santos e Valdemar Vicente Graciano Neto por terem me guiado nesta pesquisa de dissertação, pela oportunidade de aprendizado, amadurecimento pessoal e profissional ao longo de todo esse processo. Ambos foram orientadores compreensivos e parceiros. Agradeço aos professores do PPGI, em especial, Márcio, Fernanda, Simone, Renata, Fornazin, Mariano, Gleison, pelas trocas durante as aulas que tive o prazer de assistir e que por meio delas plantaram sementes que carregarei comigo. Ao apoio da secretaria, em especial, Ives, Leandro e Douglas. Ao Ricardo pela limpeza da sala de estudos e aos seguranças da guarita sempre tão gentis e solícitos.

Agradeço aos meus amigos de jornada, Rodrigo Ribeiro, Thaís Deluca, Francisco Ferreira e Luciana Chueri por estarem sempre muito próximos e me apoiando com palavras de incentivo, momentos de descontração ou todas as ajudas prestadas. Aos parceiros de publicações que tornaram possíveis muitos aceites, em especial, Francisco (de novo), Rodrigo Ribeiro (de novo), Thaís (de novo), Mariana Santos, Maria Lúcia Villela, Felipe Cordeiro, Nadja, Sandro, Awdren, Davi Viana, Pillar e tantos outros. A todos os membros do Laboratório de Engenharia de Sistemas Complexos pelas trocas e discussões essenciais ao longo de todo o processo, em especial, Nilse, Rodrigo Campos, professora Aline, Anderson, Márcio, Luiz e Mariana. Aos grandes e divertidos companheiros de percurso como Nadja (de novo), Carla, Fabrício, Felipe Santos e Cleber, minha eterna gratidão.

Agradeço ao IFPI por ter me concedido o direito à licença capacitação, em especial o apoio dos colegas professores, Liana, Geraldo e Nairon que mesmo com sobrecarga de trabalho apoiaram o meu afastamento para cursar o mestrado. Grata também ao professor Wilson, ao professor Thiago que me substituiu, aos diretores Reinaldo e Elisângela e ao Marcelo que, enquanto chefe de gabinete, foi sempre tão gentil, prestativo e ágil ao intermediar procedimentos administrativos à distância.

Agradeço a todos os meus amigos e familiares que torcem verdadeiramente por mim, foram pacientes e compreensivos diante da minha ausência. Sem o apoio e o amor dessas pessoas, certamente teria sido mais difícil concluir essa etapa e o processo até aqui seria muito mais doloroso: Papai, Mamãe, Titia Jória, Olivério, Elton e Carla, Davi, Fares, Anna Rafaela, D. Ivonete, Karina e Fabrício, Felipe, Sophia, Luna Rosa, Simone, Monique, Larissa, Rejane, Jana, Bubu, Thamires, Faena, Tereza, Joyce, Dani Costa, Polly Galvão e Eliana. Vocês são meus amores e minha base!

FERNANDES, Juliana Costa. **Uma Abordagem Baseada em Modelagem Conceitual para Compreender Fatores que Influenciam Interoperabilidade em Sistemas-de-Sistemas de Informação**. UNIRIO, 2020. 180 páginas. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Informática, UNIRIO.

RESUMO

A interoperabilidade é amplamente estudada devido à necessidade de colaboração por meio da interconexão entre Sistemas de Informação (SI), que se organizam em arranjos mais recentemente chamados de Sistemas-de-Sistemas de Informação (do inglês, *Systems-of-Information Systems* ou SoIS). A literatura trata SoIS como uma forma de atender demandas de negócio emergentes que não podem ser atendidas por um SI de forma isolada. Porém, em SoIS, as vantagens da interoperabilidade podem não ser totalmente exploradas sem a percepção dos fatores que a influenciam. Por ser um tema em amadurecimento na pesquisa em SI, SoIS traz fatores que precisam ser consideradas para que a interoperabilidade seja provida adequadamente. Isso ocorre porque SoIS envolve SI que contempla não apenas sistemas intensivos em software e questões técnicas, mas também inclui aspectos organizacionais e humanos. Um dos meios empregados para a caracterização de cenários são os modelos conceituais, pois possibilita a visualização dos aspectos relevantes de um domínio. Assim, esta pesquisa propõe uma abordagem baseada em modelagem conceitual para compreender fatores técnicos, humanos e organizacionais que influenciam interoperabilidade em SoIS. Para atingir esse objetivo, uma metodologia foi aplicada com atividades que incluíram dois mapeamentos sistemáticos e uma pesquisa de opinião com especialistas. Os dois mapeamentos permitiram que fatores que influenciam a interoperabilidade fossem identificados no domínio de SoIS. A pesquisa de opinião permitiu identificar desafios de interoperabilidade em SI na prática. Um modelo conceitual foi proposto com base nos achados dos estudos conduzidos e uma avaliação foi feita. Os resultados mostraram que o modelo reúne elementos importantes para lidar com interoperabilidade em SoIS, em especial no nível organizacional. As contribuições desta dissertação são um modelo conceitual que apoia a caracterização de SoIS e um conjunto de fatores e diretrizes para auxiliar gestores e pesquisadores no *design* de *links* de interoperabilidade em SoIS.

Palavras-chave: Interoperabilidade; Sistemas-de-Sistemas de Informação; Modelagem; Fatores de Influência.

FERNANDES, Juliana Costa. **An Approach Based on Conceptual Modeling to Understand Factors that Influence Interoperability in Systems-of-Information Systems**. UNIRIO, 2020. 180 pages. Master's Thesis. Graduate School of Informatics, UNIRIO.

ABSTRACT

Interoperability enables the exchange of information and collaboration among people, organizations, and Information Systems (IS). Thus, new IS arrangements have emerged as Systems-of-Information Systems (SoIS), which has been discussed in the literature to handle emerging business demands. However, in dynamic contexts such as SoIS, the advantages of interoperability may not be fully exploited without the awareness of all elements. As a new theme in IS research, SoIS brings nontrivial features that need to be considered to provide an adequate interoperability. This is because SoIS involves IS that includes not only software systems and technical issues, but also includes organizational and human aspects. A means for characterizing scenarios is conceptual modeling, since it allows the visualization of relevant aspects of a given context. This research proposes an approach based on conceptual modeling to understand factors that influence interoperability in SoIS. The research method followed a methodology that includes the research phases that precede the conception of software technology. Two systematic mapping studies and a survey research with experts were conducted. The systematic mapping studies allowed us to identify factors that influence interoperability in SoIS. The survey research allowed us to identify IS interoperability challenges in practice. From such studies, a conceptual model was proposed from the whole set of findings. The model was evaluated, and the results showed that the model can bring together concepts and basic elements considered as relevant for interoperability in SoIS, especially at the organizational interoperability level. As contributions to the body of knowledge in the field, a conceptual model for SoIS characterization and a set of guidelines considering technical, human, and organizational factors were proposed to support managers and researchers in the design of interoperability in SoIS.

Keywords: Interoperability; Systems-of-Information Systems; Modeling; Influence Factors.

SUMÁRIO

Capítulo 1. Introdução 1

1.1. Contexto 1
1.2. Motivação 2
1.3. Problema 3
1.4. Objetivo e Questões de Investigação 5
1.5. Metodologia da Pesquisa 6
1.6. Organização 9

Capítulo 2. Fundamentação Teórica 11

2.1. Sistemas-de-Sistemas de Informação 11
2.2. Interoperabilidade 16
2.3. Interoperabilidade em Sistemas-de-Sistemas de Informação 20
2.4. Trabalhos Relacionados 23
2.5. Considerações Finais 24

Capítulo 3. Fatores de Influência para Interoperabilidade 26

3.1. Introdução 26
3.1.1. Resultados do Mapeamento Sistemático da Literatura 29
3.1.2. Necessidades de Pesquisa Identificadas 33
3.2. Protocolo e Execução do Estudo Longitudinal 33
3.3. Resultados do Estudo Longitudinal 37
3.3.1. Fatores Técnicos 39
3.3.2. Fatores Humanos 41
3.3.3. Fatores Organizacionais 42
3.3.4. Como Fatores Afetam Interoperabilidade em SoIS 43
3.4. Análise e Discussão 46
3.4.1. Fatores de Influência para Interoperabilidade e o Papel do Gerente de SoIS 48
3.4.2. Conceitos Transversais a SoIS 50
3.5. Estudos Secundários Relacionados à Interoperabilidade 51
3.6. Ameaças à Validade 52
3.6.1. Viés na Seleção dos Estudos 53
3.6.2. Imprecisão na Extração e Síntese de Dados 53
3.6.3. Grande Quantidade de Publicações Recuperadas 53
3.7. Considerações Finais 53

Capítulo 4. Desafios de Interoperabilidade em Sistemas de Informação 55

4.1. Introdução 55
4.2. Protocolo e Execução 56
4.3. Método de Análise 57
4.4. Resultados 58
4.4.1. Caracterização dos Participantes 58
4.4.2. Desafios de Interoperabilidade 59
4.4.2.1. Desafios Relacionados a Fatores Humanos 60
4.4.2.2. Desafios Relacionados a Dados 61
4.4.2.3. Desafios Relacionados a Padrões 63
4.4.2.4. Desafios Relacionados a Questões Técnicas 64
4.5. Análise e Interpretação dos Resultados 66
4.6. Ameaças à Validade 73
4.6.1 Validade do Instrumento 73
4.6.2 Validade Interpretativa 73

4.6.3 Método de Seleção das Amostras 74
4.7. Considerações Finais 74

Capítulo 5. Modelo Conceitual de SoIS 76

5.1. Introdução 76
5.2. Método de Concepção 78
5.3. Apresentação do Modelo 81
5.4. Avaliação 87
5.4.1. Planejamento 87
5.4.2. Execução 88
5.4.3. Resultados 88
5.4.4. Discussão dos Resultados 95
5.4.5. Refinamento 99
5.4.6. Instanciação 104
5.5. Guia de Utilização do Modelo 109
5.6. Revisitando Dez Fatores que Influenciam a Interoperabilidade em SoIS 112
5.7. Diretrizes para o *Design* de *Links* de Interoperabilidade em SoIS 115
5.8. Ameaças à Validade 121
5.9. Considerações Finais 122

Capítulo 6. Conclusão 124

6.1 Conclusões 124
6.2. Contribuições 125
6.2.1. Principal Contribuição 125
6.2.2. Publicações 126
6.3. Limitações 127
6.4. Trabalhos Futuros 128

Referências 129

Apêndice I. Glossário de Termos 141

Apêndice II. Dados do MSL 142

Apêndice III. Dados do Estudo Longitudinal 146

Apêndice IV. Instrumento e Textos da Pesquisa de Opinião 162

Apêndice V. Instrumento e Textos da Avaliação do Modelo 172

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodologia da pesquisa baseada e traduzida de DIAS-NETO et al. (2010)... 7
Figura 2. Características consideradas para o domínio de SoIS. Imagem evoluída de LU et al. (2010)..... 12
Figura 3. Dimensões de interoperabilidade comumente estudadas. 18
Figura 4. Necessidades para o corpo de conhecimento relacionado a interoperabilidade em SoIS. 23
Figura 5. Etapas do processo de seleção e extração de dados do primeiro MSL. 28
Figura 6. Visão geral dos resultados do primeiro MSL (FERNANDES et al., 2018).... 29
Figura 7. Primeiros fatores de influência identificados (FERNANDES et al., 2018).... 32
Figura 8. Etapas do processo de seleção e extração de dados do estudo longitudinal. .. 36
Figura 9. Visão geral dos resultados do estudo longitudinal. 37
Figura 10. Conjunto de fatores de influência para interoperabilidade em SoIS. 39
Figura 11. Linhas para prover níveis de interoperabilidade em SoIS. 47
Figura 12. Dimensões de interoperabilidade consideradas para o domínio de SoIS..... 48
Figura 13. Ocupação dos participantes. 59
Figura 14. Desafios relacionados à categoria de fatores humanos. 60
Figura 15. Desafios relacionados à categoria de dados. 62
Figura 16. Desafios relacionados à categoria de padrões. 63
Figura 17. Desafios relacionados à categoria de questões técnicas. 65
Figura 18. Tempo de experiência dos participantes da pesquisa de opinião. 66
Figura 19. Desafios e sugestões de mitigação em torno dos fatores técnicos. 69
Figura 20. Desafios e sugestões de mitigação em torno dos fatores humanos. 71
Figura 21. Desafios e sugestões de mitigação em torno dos fatores organizacionais. ... 72
Figura 22. Método de concepção e avaliação do modelo conceitual de SoIS. 78
Figura 23. Modelo conceitual de SoIS traduzido de FERNANDES et al. (2019). 83
Figura 24. Gráficos do perfil dos avaliadores do Grupo 1. 89
Figura 25. Gráficos do perfil dos avaliadores do Grupo 2. 92
Figura 26. Gráficos da leitura por extenso em cada um dos grupos. 96
Figura 27. Gráficos de completude, relevância, utilidade e consistência do modelo. 97
Figura 28. Gráfico sobre a adequabilidade dos conceitos e relações (Grupo 1). 98
Figura 29. Gráfico sobre a adequabilidade dos conceitos e relações (Grupo 2). 98
Figura 30. Gráfico das respostas das questões abertas agrupadas em categorias. 99
Figura 31. Modelo de SoIS refinado. 101
Figura 32. Formulário para coleta de dados do arranjo de SoIS a ser analisado. 105
Figura 33. Aplicação do modelo de SoIS para o Caso 1. 108
Figura 34. Aplicação do modelo de SoIS para o Caso 2. 109
Figura 35. Passos básicos para iniciar a utilização do modelo conceitual de SoIS. 110
Figura 36. Recorte do modelo de SoIS com as entidades instanciáveis. 110
Figura 37. Recorte do modelo de SoIS com as entidades abstratas. 112
Figura 38. Diretrizes para o *design* de interoperabilidade em SoIS. 116
Figura 39. Abordagens para interoperabilidade (FERNANDES et al., 2020b). 118
Figura 40. Demonstração do estágio de codificação aberta. 166
Figura 41. Inter-relações em torno dos desafios relacionados a fatores humanos. 167
Figura 42. Inter-relações em torno dos desafios relacionados a dados. 168
Figura 43. Inter-relações em torno dos desafios relacionados a padrões. 168
Figura 44. Inter-relações em torno dos desafios relacionados a questões técnicas. 169
Figura 45. Inter-relações em torno das ações de mitigação dos desafios humanos..... 170
Figura 46. Inter-relações em torno das ações de mitigação dos desafios de dados. 170
Figura 47. Inter-relações em torno das ações de mitigação dos desafios de padrões... 171
Figura 48. Inter-relações em torno das ações de mitigação dos desafios técnicos. 171

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dimensões de interoperabilidade. Traduzido e evoluído de KUBICEK e CIMANDER (2009). 16
Tabela 2. Critérios de PO. 34
Tabela 3. Questões de pesquisa do estudo longitudinal 35
Tabela 4. Formulário de extração de dados baseado em PETERSEN et al. (2015). 36
Tabela 5. Questões do formulário da pesquisa de opinião. 57
Tabela 6. Glossário de termos do modelo conceitual de SoIS. 80
Tabela 7. Quadro descritivo das notações utilizadas no modelo conceitual de SoIS. 82
Tabela 8. Conceitos avaliados no quesito adequabilidade. 90
Tabela 9. Leitura por extenso do modelo conceitual de SoIS. 103

Capítulo 1. Introdução

Esse capítulo tem como objetivo apresentar o contexto e a motivação para a realização desta pesquisa, a caracterização do problema, o objetivo e questões de investigação que norteiam o trabalho, além da metodologia científica utilizada para atingir o objetivo. Por fim, a organização da dissertação é apresentada por meio da sumarização dos capítulos.

1.1. Contexto

A interoperabilidade em torno de Sistemas de Informação (SI) favorece que as organizações atendam às demandas da sociedade, do governo e seus objetivos de negócio com mais efetividade. A interoperabilidade é um ponto chave para que novas oportunidades de negócios sejam exploradas e, com isto, organizações consigam maximizar lucros, no caso do setor privado, e prover melhores serviços e acesso à informação aos cidadãos, no caso do setor público.

Nesse contexto, as organizações tendem a formar acordos ou alianças no intuito de alcançar propósitos difíceis de serem conquistados se seus SI operarem isoladamente (MAIER, 1998). Diante disso, uma classe de sistemas denominada Sistemas-de-Sistemas de Informação (SoIS[1], do inglês *Systems-of-Information Systems*) é formada (YAHIA et al., 2009; SALEH e ABEL, 2015; GRACIANO NETO et al., 2017c; TEIXEIRA et al., 2019). SoIS herda características de Sistemas-de-Sistemas (SoS, do inglês *Systems-of-Systems*), mas também agrega a natureza sociotécnica e de negócios oriunda dos SI envolvidos nas interoperações (MAIER, 1998; GOROD et al., 2008; LU et al., 2010; ; LAUDON e LAUDON, 2011; SOARES e AMARAL, 2014; GRACIANO NETO et al., 2017c).

SoIS é um tema em amadurecimento na pesquisa em SI e Engenharia de Software. Portanto, o crescimento de estudos na academia sobre esse tipo de arranjo de sistemas complexos tem sido observado. Tais estudos visam buscar meios adequados para prover interoperabilidade alinhados às particularidades e à essência dinâmica desse tipo de

[1] Para simplificar, SoIS, do inglês *Systems-of-Information Systems*, denota ao longo do texto as formas no singular (relacionado a um único SoIS) e plural. Ele se aplica ao acrônimo SI que, ao longo do texto, denota as formas no singular (relacionado a um único SI) e plural.

arranjo de SI (BOSCARIOLI et al., 2017; GRACIANO NETO et al., 2017c). O dinamismo desse arranjo se configura principalmente pelo fato de SoIS ser formado por SI independentes gerencialmente e operacionalmente.

1.2. Motivação

Interoperabilidade é relevante no apoio a novos modelos de negócios para fornecimento de serviços e consequentemente criação de valor. Segundo o SEBRAE Nacional[2], grandes empresas (de tecnologia ou não) têm investido para lidar com interoperabilidade. Isso tem como consequência a garantia de inovação e novas oportunidades de negócio, estimando-se um mercado potencial de US$ 15 trilhões em 15 anos.

Por sua vez, a interoperabilidade em SoIS surge com uma alternativa para o cenário de negócios. Isso deve ao fato de SoIS formar arranjos de SI cujas organizações ou unidades organizacionais detentoras possam mantê-los operando independentemente do SoIS. Ou seja, cada SI que participa de um SoIS para cumprir um propósito maior provido pelo arranjo se mantém ao mesmo tempo operando sob a mesma gerência para cumprir seus propósitos individuais.

Um estudo *ad-hoc* realizado para compreender um contexto de interoperabilidade entre SI independentes traz como um exemplo disso SI governamentais que são desenvolvidos e implantados para resolver demandas pontuais de cada órgão ou entidade (FERNANDES e SANTOS, 2017a; FERNANDES e SANTOS, 2017b). Nesse contexto, um SI para gestão de processos de licenças ambientais (cujo propósito é gerir as solicitações processuais de uma determinada localidade da federação) pode ter que interoperar com um SI de gestão de imóveis rurais do governo federal (cujo propósito é manter as informações ambientais das propriedades e posses rurais de todo o país). Ambos SI possuem sua própria equipe de gestão e operam independentemente da existência um do outro. No entanto, ao estabelecerem interoperabilidade, podem formar um arranjo capaz de fornecer uma base de informações para controle e monitoramento de atividades ambientais de uma forma mais precisa. Essa base, porém, pode sofrer perdas caso um SI venha a entrar em desuso ou fazer alguma alteração nos seus processos de negócios e que inviabilizam a comunicação entre eles.

Quando tomadores de decisão precisam cumprir um propósito maior por meio da interoperabilidade entre SI independentes, eles devem planejar *links* de interoperabilidade

[2] http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae

coerentes com as capacidades dos SI que formarão o SoIS. Em outras palavras, esses tomadores de decisão atuarão como gerentes de SoIS e, portanto, devem estar cientes do que um SI pode oferecer para que a sua participação no arranjo de SoIS seja viável. No entanto, para isso, um tomador de decisão tem como desafio buscar meios de estabelecer a formação de uma aliança sem renunciar as preocupações relacionadas à natureza de negócios da organização a qual o SI pertence (GRACIANO NETO et al., 2017b). Entende-se por *links* de interoperabilidade as maneiras pelas quais a interoperabilidade entre SI é efetivada. Um exemplo de *link* de interoperabilidade é o compartilhamento de dados com outro(s) SI por meio da exportação/importação de arquivos com meta-dados ou envio de dados por meio de uma URL (do inglês, *Uniform Resource Locator*[3]) que utilize o método GET, dentre outros.

Com base em uma revisão informal de literatura, observou-se que, embora haja um vasto campo de pesquisa na área de interoperabilidade, a maioria dos estudos foca em soluções que visam resolver problemas técnicos. Ou seja, soluções que resolvam problemas de integrações, sem considerar a independência operacional e gerencial dos SI (FERNANDES e SANTOS, 2017a; FERNANDES e SANTOS, 2017b). Tendo em vista que a independência é uma característica-chave dos SI em SoIS, percebeu-se que a discussão sobre interoperabilidade para além de questões técnicas tem sido pouco explorada mesmo sendo relevante para a área de SI (GRACIANO NETO et al., 2017a). Além disso, ao longo da realização dessa pesquisa, foi observada a falta de uma formalização sobre o que é um arranjo de SoIS (TEIXEIRA et al., 2019). A falta de formalização pode fazer com que a formação de arranjos de SI mais independentes operacionalmente não seja explorada na prática. Esses pontos motivaram a condução dos estudos realizados nessa dissertação.

1.3. Problema

Um SI tradicional envolve propósitos particulares, recursos humanos, tecnológicos e financeiros próprios de cada organização. Quando uma organização necessita interoperar seu(s) SI com outros, as preocupações envolvidas são desafiadoras. Isso ocorre porque as equipes de gestão responsáveis pelos SI necessitam coordenar demandas e/ou diversidades (i) **técnicas**, e.g., linguagens de programação, interfaces de programação de aplicativos (API, do inglês *Application Programming Interface*),

[3] https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/HTTP/Basico_sobre_HTTP/Identifying_resources_on_the_Web#URLs_e_URNs

protocolos de comunicação de redes; (ii) **organizacionais**, e.g., processos de negócios, transparência, legislação, políticas; e (iii) **humanas**, e.g., colaboração entre pessoas, compartilhamento de informação e/ou conhecimento entre equipes.

Em se tratando da formação de arranjos em SoIS, além das preocupações inerentes à interoperabilidade mencionadas, está o fato dos SI envolvidos precisarem manter a independência operacional e gerencial para que os propósitos particulares continuem sendo prioridade. Nesse caso, um problema na formação desse tipo de arranjo é coordenar as demandas por meio de uma interoperabilidade que possibilite maior desacoplamento entre sistemas a fim de preservar a autonomia dos SI.

Em estudos exploratórios realizados no domínio da gestão ambiental, foram analisados três SI que necessitam interoperar e servem como exemplo prático para expor esse problema (FERNANDES e SANTOS, 2017a; FERNANDES e SANTOS, 2017b; FERNANDES et al., 2020a). Um dos receios para operacionalizar a interoperabilidade se dá pela carência de informação acerca dos elementos básicos necessários para que a autonomia dos SI não seja prejudicada (FERNANDES e SANTOS, 2017a). Segundo um dos estudos de FERNANDES e SANTOS (2017a), tal carência pode estar relacionada à resistência organizacional em compartilhar informações. Além disso, o fato de existir processos pouco conhecidos ou não definidos pelo time de gestão (FERNANDES e SANTOS, 2017a) também afeta o diagnóstico das características da formação de *links* de interoperabilidade entre SI.

Tanto a comunidade de pesquisa em SI como a de Engenharia de Sistemas-de-Sistemas (SoSE, do inglês *Systems-of-Systems Engineering*) apontam necessidades de: (i) novas lentes para analisar como sistemas complexos[4] e seus constituintes estão conectados (PALFREY, 2012); (ii) suporte à pouca capacidade dos *stakeholders* para compreender completamente especificações pré-estabelecidas para interoperabilidade (BENSON e GRIEVE, 2016); e (iii) suporte adequado para lidar com todos os níveis, dimensões ou camadas de interoperabilidade para que se alcance a interoperabilidade plena, sobretudo no contexto de sistemas complexos (MACIEL et al., 2017).

Aspectos relacionados a um nível específico de interoperabilidade são normalmente tratados implicitamente em seus próprios aplicativos, gerando sistemas fortemente acoplados (MACIEL et al., 2017). Em arranjos como SoIS, o gerenciamento dos *links* de

[4] Nessa dissertação, o termo "sistemas complexos" se refere a um tipo de arranjo de sistemas composto por várias partes independentes e interdependentes interagindo de maneira não linear, ou seja, cujo comportamento não pode ser expresso com precisão como resultado da soma das atividades e/ou partes individuais. Além disso, suas interdependências são difíceis de descrever, prever e projetar (ALAMPALLI, 2014). Assim, sistemas complexos têm (i) adaptação, (ii) auto-organização e (iii) comportamentos emergentes (OTTINO, 2004).

interoperabilidade e o ajuste do nível de interoperabilidade estabelecido entre organizações são ainda mais desafiadores (GRACIANTO NETO et al., 2017c). Um dos desafios se refere à independência dos SI que permite que eles se unam ou deixem a aliança de acordo com a necessidade individual da organização detentora do constituinte. Esse problema faz com que alguns dos *links* de interoperabilidade sejam efêmeros. Tal fato demanda que um gerente de SoIS não apenas administre o cumprimento de seus objetivos principais, mas também gerencie o impacto da natureza mutável (dinâmica) desse tipo de arranjo. Essa natureza mutável é explicada devido aos SI estarem focados em cumprir seus próprios objetivos.

Portanto, um problema envolve a dificuldade em especificar como os SI devem se inter-relacionar de forma que mantenham um nível de acoplamento adequado. Isso pode acarretar custos excedentes ou falhas que prejudiquem o objetivo principal da formação de um SoIS. Logo, os problemas de pesquisa para a interoperabilidade em SoIS que essa dissertação identificou são os seguintes:

- Como fornecer um modelo que apoie a identificação dos elementos comuns envolvidos em torno da interoperabilidade dos SI e que tenha a capacidade de evoluir à medida que as pesquisas sobre SoIS evoluam;
- Como apoiar o gerenciamento e o estabelecimento de *links* de interoperabilidade no domínio de SoIS considerando a mutação do arranjo e o encerramento de *links*.

1.4. Objetivo e Questões de Investigação

O objetivo desta pesquisa é caracterizar interoperabilidade em SoIS por meio de estudos da literatura e pesquisa de opinião a fim de propor um modelo conceitual que reúna conceitos e elementos a serem considerados ao prover *links* de interoperabilidade. Esse modelo deve auxiliar times de gestão e pesquisadores no *design* de *links* de interoperabilidade em SoIS, especialmente em nível organizacional.

Algumas questões de investigação foram definidas para orientar a pesquisa. A principal questão de pesquisa da dissertação (QPD) é: *Quais são os principais elementos e relações que caracterizam a interoperabilidade em SoIS*?

A partir dessa QPD, foram definidas as subquestões da dissertação (SubQPD):

- *Que fatores influenciam a interoperabilidade em SoIS?*
- *Que abordagem é a mais adequada para o design de links interoperabilidade no domínio de SoIS?*

Como objetivos específicos, a presente pesquisa visa: (i) identificar elementos e relações que caracterizam a interoperabilidade em SoIS; (ii) identificar um conjunto de fatores técnicos, humanos e organizacionais que influenciam a interoperabilidade em SoIS; (iii) investigar desafios de interoperabilidade que podem influenciar o contexto de SoIS; (iii) conceber um modelo conceitual que auxilia a identificação do que é ou não é um SoIS; (iv) avaliar a adequabilidade do modelo conceitual; (v) instanciar o modelo para cenários reais de SoIS; e (vi) elaborar diretrizes para o *design* de *links* de interoperabilidade em SoIS.

1.5. Metodologia da Pesquisa

A pesquisa foi conduzida com base nas fases da Metodologia de Concepção de Tecnologia de Software (MCTS) que antecedem a proposta inicial de uma tecnologia de software (DIAS-NETO et al., 2010). Essa metodologia foi escolhida por contemplar as fases de concepção de um corpo de conhecimento científico. Logo, esta pesquisa segue as seguintes fases:

1. **Revisão informal da literatura**, na qual foram realizadas duas atividades de investigação inicial: uma atividade para adquirir uma visão geral em relação à área de pesquisa representada pelo estudo sobre o tema SoIS e outra atividade representada pelo estudo sobre interoperabilidade;
2. **Mapeamento sistemático da literatura (MSL)**, na qual foram conduzidos dois estudos para: (i) conhecer o estado da arte de interoperabilidade e identificar fatores técnicos, humanos e organizacionais que influenciam a interoperabilidade em SoIS e (ii) aprofundar o entendimento sobre como os fatores identificados podem influenciar a interoperabilidade em SoIS;
3. **Pesquisa de opinião online com especialistas em interoperabilidade**, a partir da qual foi obtido o entendimento dos desafios de interoperabilidade na indústria, bem como o que é feito para mitigar esses desafios;
4. **Produção do corpo de conhecimento**, na qual foram realizadas as seguintes atividades: o projeto e concepção do modelo conceitual de SoIS, a instanciação, a avaliação, o refinamento e, por fim, a elaboração de diretrizes para o *design* de interoperabilidade no domínio de SoIS.

A metodologia utilizada para a condução da pesquisa foi adaptada e traduzida de DIAS-NETO et al. (2010). Essa proposta metodológica se preocupa com a ideia de concepção de tecnologias de software com base em evidências coletadas de resultados de

estudos secundários e primários. Nesse sentido, a MCTS de DIAS-NETO et al. (2010) apoia o estágio de concepção de tecnologias. Como essa dissertação visa agregar conteúdo ao corpo de conhecimento da pesquisa em SoIS a fim de servir de base para propostas tecnológicas futuras baseadas em software, a MCTS se mostrou adequada. A Figura 1 ilustra a metodologia utilizada nesta pesquisa. Os retângulos em cinza claro representam as fases da pesquisa, os retângulos verdes representam as atividades de cada fase e os retângulos amarelos representam as menções às publicações obtidas.

Na fase 1, houve o estudo de artigos científicos da literatura de SoIS e do cenário interoperabilidade. Esse estudo visou identificar o que tem sido discutido sobre SoIS, conhecer lacunas, estágios de progresso de pesquisa na área e conhecer conceitos, dimensões e padrões de interoperabilidade existentes. Ou seja, buscou-se obter maior compreensão do domínio da pesquisa.

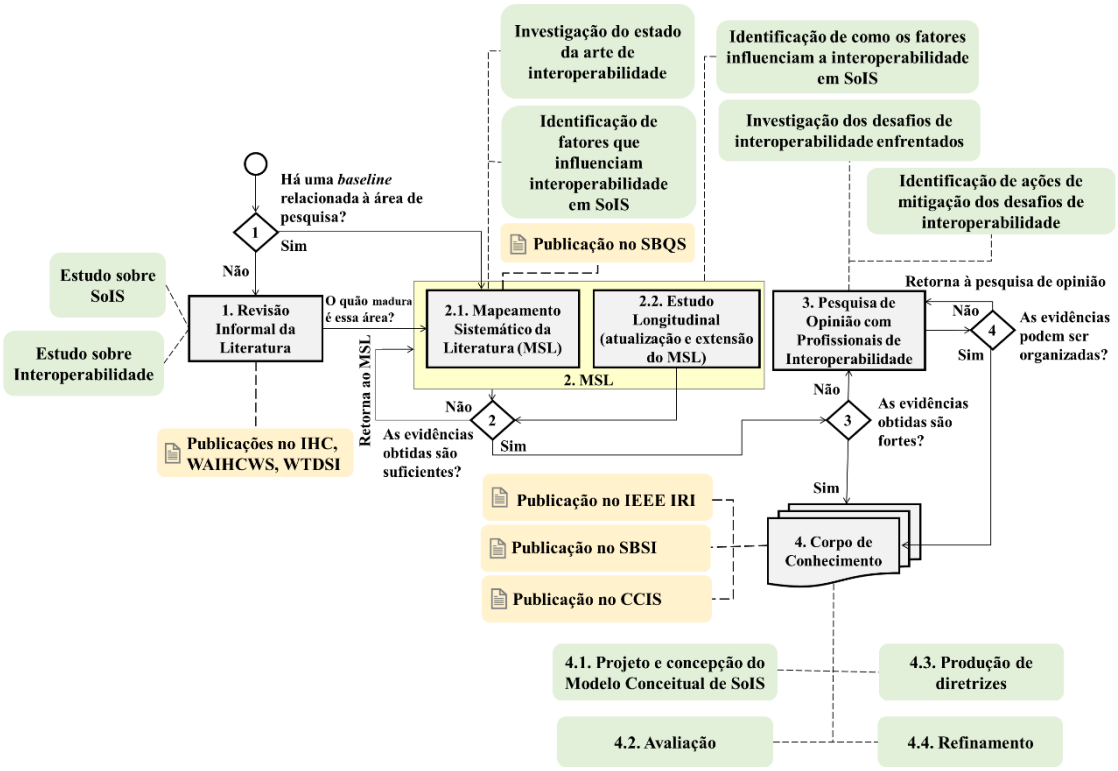


Figura 1. Metodologia da pesquisa baseada e traduzida de DIAS-NETO et al. (2010).

As atividades dessa fase resultaram em dois estudos exploratórios iniciais, um publicado na trilha de Pôsteres e Demonstrações do XVI Simpósio Brasileiro sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (IHC'17) (FERNANDES e SANTOS, 2017a) e outro publicado no VIII Workshop de Aspectos da Interação Humano-Computador na Web Social (WAIHCWS'17) (FERNANDES e SANTOS, 2017b). Os

estudos citados resultaram em uma proposta de pesquisa publicada no XI Workshop de Teses e Dissertações em Sistemas de Informação (WTDSI'18) (FERNANDES e SANTOS, 2018).

Na fase 2.1, um MSL foi realizado para analisar métodos, técnicas, tecnologias, ferramentas, padrões e requisitos utilizados para prover interoperabilidade e para identificar fatores de influência para interoperabilidade em SoIS. Nesse estudo, foram identificados fatores que influenciam interoperabilidade e que podem afetar um SoIS, sendo eles: (i) técnicos, i.e., arquitetura de sistemas e infraestrutura; (ii) humanos: comportamento humano, colaboração e relação entre atores; e (iii) organizacionais: modelos de processo, fases e fluxos de trabalho organizacionais, informações sobre processos, processos de negócio, barreira conceitual, informação e linguagem comum, comportamento organizacional, permissões compartilhadas, natureza administrativa e ciclo de vida da informação.

O estudo realizado nessa fase contribuiu tanto para o melhor entendimento do estado da arte de interoperabilidade como para identificar e/ou ratificar três lacunas de pesquisa: (i) a necessidade de refinar os fatores extraídos dos estudos selecionados; (ii) a necessidade de consultar a indústria sobre os atuais desafios de interoperabilidade; e (iii) a falta de uma caracterização formal sobre o que de fato é um arranjo de SoIS. Esse mapeamento sistemático resultou em um artigo publicado no XVII Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software (SBQS'18) (FERNANDES et al., 2018).

Na fase 2.2, um estudo longitudinal (atualização e extensão do MSL) foi realizado para refinar os fatores identificados na fase 2.1. Esse refinamento foi importante para identificar novos fatores de influência para interoperabilidade em SoIS e reorganizar os fatores identificados no MSL em uma categorização mais adequada. O estudo realizado nessa fase contribuiu tanto para entender como fatores técnicos, humanos e organizacionais influenciam a interoperabilidade no domínio de SoIS, como para produzir insumos para a especificação do modelo conceitual de SoIS.

Na fase 3, visando a compreensão dos principais desafios de interoperabilidade que os especialistas enfrentam na indústria, realizou-se uma pesquisa de opinião *online* com 14 participantes ao redor do mundo. A pesquisa de opinião realizada contribuiu para o melhor entendimento dos desafios enfrentados ao lidar com interoperabilidade em SI e para conhecer como os profissionais mitigam esses desafios. Esse estudo contribuiu para ratificar que a interoperabilidade entre SI requer sinergia entre fatores técnicos, humanos e organizacionais para alcançar melhores resultados.

Na fase 4, para a produção do corpo de conhecimento para o campo de SoIS, realizou-se a especificação do modelo conceitual de SoIS contemplando tanto as definições e características de SoIS encontradas nos estudos das fases 1 e 2, como os resultados da fase 3. A avaliação do modelo foi realizada utilizando o protocolo de KITCHENHAM e PFLEEGER (2008) para a realização de pesquisas de opinião presencial e *online*. Após a avaliação, foi realizada a análise qualitativa das respostas, seguido do refinamento do modelo. A instanciação do modelo com exemplos de arranjos de sistemas e a discussão dos casos reais foram realizadas. O estudo realizado nessa fase resultou em um artigo publicado na *International Conference on Information Reuse and Integration for Data Science* (IEEE IRI'19) (FERNANDES et al., 2019), outro publicado no XVI Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI'20) (FERNANDES et al., 2020b) e, por último, um capítulo de livro publicado no volume 1081 da série *Communications in Computer and Information Science* (CCIS Springer'20) (FERNANDES et al., 2020a). Além disso, com a conclusão dessas etapas, um guia de utilização básica do modelo foi elaborado, seguido da discussão sobre abordagens para o *design* de *links* de interoperabilidade em SoIS e produção de diretrizes iniciais para lidar com as mutações desse tipo de arranjo e encerramento de *links* de interoperabilidade.

1.6. Organização

Esta dissertação de mestrado está organizada em seis capítulos. Nesse capítulo de introdução, o contexto, a motivação e o problema foram apresentados. Os objetivos e as questões de investigação também foram definidos e a metodologia utilizada para a condução da pesquisa foi detalhada. O Capítulo 2 apresenta uma discussão sobre os principais tópicos desta pesquisa, sendo eles: SoIS, interoperabilidade e interoperabilidade em SoIS.

O Capítulo 3 detalha o processo dos estudos de MSL que permitiram identificar, analisar e discutir fatores técnicos, humanos e organizacionais, além de apontar e/ou ratificar lacunas de pesquisa que foram exploradas ao longo do processo da pesquisa. O Capítulo 4 aborda os desafios de interoperabilidade em SI identificados na pesquisa de opinião *online* com especialistas, bem como os resultados obtidos por meio de uma análise qualitativa.

O Capítulo 5 apresenta o projeto e os detalhes da concepção do modelo conceitual de SoIS, que incluem o método de construção e o rastreamento dos conceitos, elementos e relacionamentos utilizados. Nesse capítulo, também é descrita a instanciação do modelo

conceitual para compreender cenários que se aplicam ou não ao domínio de SoIS a fim de evidenciar a sua aplicação.

O Capítulo 6 conclui a pesquisa com as considerações finais, a sumarização das contribuições desta pesquisa, as limitações e os trabalhos futuros. Por fim, são listadas as referências utilizadas para apoiar a pesquisa, o glossário de termos utilizados nesta dissertação (Apêndice I) e os demais apêndices do estudo. Os apêndices reúnem textos sobre os mapeamentos sistemáticos, o instrumento e textos sobre a pesquisa de opinião realizada, bem como documentos descritivos da concepção e avaliação do modelo conceitual de SoIS.

Capítulo 2. Fundamentação Teórica

Esse capítulo apresenta os conceitos e o cenário de pesquisa relacionados a SoIS (Seção 2.1), os principais conceitos e o cenário de pesquisa relacionados a Interoperabilidade (Seção 2.2) e os desafios de interoperabilidade específicos para o domínio de SoIS (Seção 2.3). Por fim, são comparados os trabalhos que se relacionam com esta pesquisa (Seção 2.4) e são feitas as considerações finais (Seção 2.5).

2.1. Sistemas-de-Sistemas de Informação

Organizações buscam agregar valor a seus produtos e serviços. Uma forma de atenuar as limitações organizacionais e obter benefícios mútuos é justamente estabelecer colaboração com outras organizações por meio de alianças comerciais. Essas alianças de negócios devem ser estendidas à infraestrutura tecnológica das organizações, que incluem seus SI. Nessa perspectiva, vários SI combinados para interoperar podem agregar valor ao cliente ou (como consequência) às organizações (BOEHM, 2006). Esse conjunto resultante de SI interconectados e independentes de diferentes organizações tem sido conhecido como SoIS (TEIXEIRA et al., 2019).

SoIS é uma classe de sistemas complexos formada por um arranjo de SI que foi proposto para abordar o impacto do fluxo de informações e conhecimentos entre os diferentes SI que interoperam nesse tipo de arranjo (YAHIA et al., 2009; SALEH e ABEL, 2015). A literatura aponta SoIS como sendo uma subclasse de Sistemas-de-Sistemas (SoS) (TEIXEIRA et al., 2019) e, portanto, herda as principais características que ao longo dos anos foram discutidas e evoluídas na literatura de SoS. A fim de atualizar a discussão e aplicá-la ao domínio de SoIS, estudos de autores relevantes sobre a caracterização de SoS (LU et al., 2010) foram revisados, são eles: MAIER (1996), BOARDMAN e SAUSER (2006), DELAURENTIS (2007) e NIELSEN et al. (2015).

As características recorrentes ao SoS na literatura são **autonomia**, **desenvolvimento evolucionário**, **comportamento emergente**, **conectividade**, **interdependência**, **diversidade**, **pertencimento**, **dinamicidade** e **interoperabilidade** (LANA et al., 2016). A Figura 2 mostra todas as características discutidas nos estudos de SoS e como elas são correlacionadas, rastreáveis e foram evoluídas ao longo dos anos de

acordo com os autores destacados. Essas características são consideradas nesta pesquisa porque SoIS herda as características de SoS.

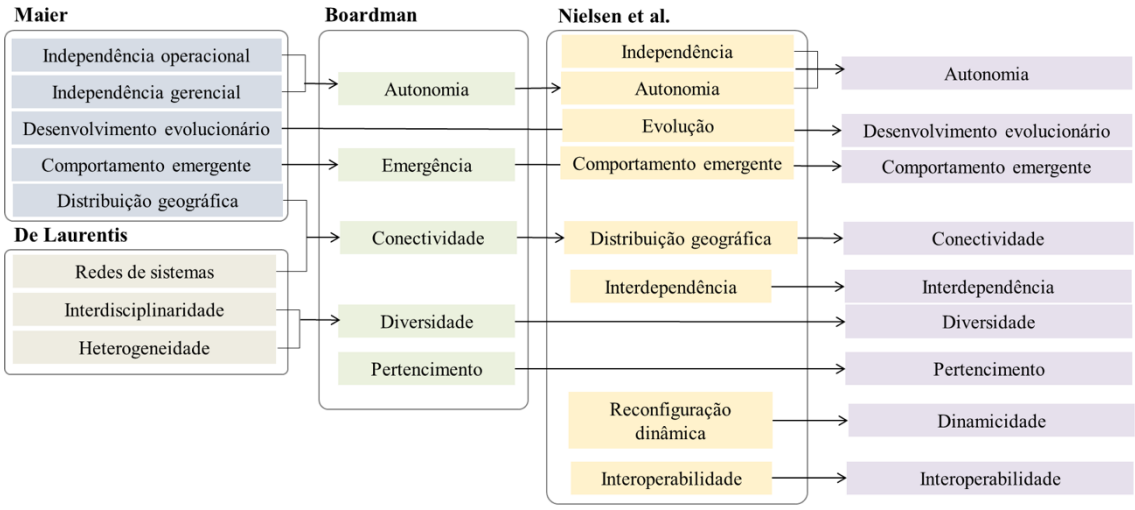


Figura 2. Características consideradas para o domínio de SoIS. Imagem evoluída de LU et al. (2010).

A **autonomia** está relacionada a como um sistema é governado por suas próprias regras, apesar das influências externas. A autonomia se relaciona com a independência (dissociação) operacional de constituintes, o que significa que os SI mantêm sua própria operação, não sendo exclusivamente dedicados aos propósitos do SoIS. Por sua vez, essa autonomia também está relacionada à independência gerencial, uma vez que empresas diferentes possuem e gerenciam os SI envolvidos. Por exemplo, os constituintes desempenham suas funções de acordo com as regras da organização a qual pertencem, mesmo quando atendem a um objetivo global do arranjo (MAIER, 1998). Ou seja, um constituinte também opera em prol de um objetivo individual fora do arranjo (BOARDMAN e SAUSER, 2006).

O **desenvolvimento evolucionário** se manifesta uma vez que todo o arranjo evolui como resultado da evolução dos constituintes e apresenta propósitos em constante evolução (MAIER, 1996). Essa evolução dos SI constituintes acontece em resposta às necessidades individuais das organizações e pode trazer benefícios para o SoIS, por exemplo, uma nova funcionalidade pode ser criada no SI e gerar uma nova capacidade a ser usufruída pelo SoIS. Por outro lado, algumas funcionalidades dos SI podem ser descontinuadas. O SoIS deve absorver essas alterações para maximizar ganhos ou minimizar efeitos indesejados. Essa característica manifestada faz com que um SoIS não pareça estar completamente formado.

O **comportamento emergente** é um fenômeno holístico (intencional ou não) manifestado como resultado da interoperabilidade entre os SI constituintes para alcançar

objetivos. Tal comportamento é resultante da colaboração sinérgica entre os constituintes e atribuído ao arranjo como um todo. Isso pode ser desejado ou indesejado porque, apesar dos benefícios proporcionados e devido à autonomia dos SI, as equipes que gerenciam esses constituintes tendem a dar maior prioridade aos objetivos individuais desses sistemas (GOROD et al., 2008).

A **conectividade** se refere ao fato dos constituintes estarem dispersos, exigindo que haja conectividade para que possam se comunicar (MAIER, 1998; GRACIANO NETO et al, 2017c). Essa característica também está relacionada à distribuição dos SI constituintes em SoS (MAIER, 1998). SoIS é considerado um sistema complexo porque, de acordo com o Corpo de Conhecimento em Engenharia de Sistemas (SEBoK, do inglês *Systems Engineering Body of Knowledge*), quando vários SI independentes trabalham em conjunto para alcançar um objetivo mútuo, um sistema complexo é formado (FERNANDES et al., 2019). Um sistema complexo é composto por várias partes independentes e interdependentes que interagem de maneira não linear, ou seja, o comportamento não pode ser expresso com precisão como resultado exclusivo da soma das atividades e/ou partes individuais (ALAMPALLI e PARDO, 2014).

A **interdependência** como característica de SoIS é explicada pela interação necessária entre os SI constituintes. De forma similar aos sistemas complexos, em SoIS, as interdependências são difíceis de descrever, prever e projetar (ALAMPALLI e PARDO, 2014). Essa dificuldade pode ser explicada pela diversidade dos SI constituintes. Já a **diversidade** se refere à variedade de elementos de um SoIS. A heterogeneidade tecnológica (e.g., linguagens de programação, paradigmas de desenvolvimento, formato de dados), organizacional (e.g., semântica dos dados, missões, recursos humanos próprios), humana (e.g., experiências profissionais diversas, aspectos de comunicação, os relacionamentos entre *stakeholders*) ou todas elas juntas ilustram bem a característica da diversidade.

O **pertencimento** significa a percepção que se tem de um constituinte em relação ao benefício mútuo entre as partes envolvidas (BOARDMAN e SAUSER, 2006). Assim, o pertencimento de um SI a um arranjo como SoIS é menos óbvia do que o de um subsistema em uma composição de sistemas. Na composição de sistemas, os subsistemas estão disponíveis para servir ao objetivo do arranjo, sendo, muitas vezes, somente componentes de um sistema maior que não existem desacoplados desse sistema. Logo, o *design* da interoperabilidade em SoIS deve considerar que os constituintes podem abandonar o arranjo a qualquer momento devido à autonomia dos SI constituintes (SALADO, 2015). Além das características anteriormente mencionadas, a autonomia dos

SI leva o SoIS a ter uma arquitetura dinâmica (GRACIANO NETO et al., 2017c), que também pode ser entendida como evolutiva ou mutacional, aumentando consequentemente a complexidade no *design* e gerência de *links* de interoperabilidade.

A **dinamicidade** da arquitetura de um SoIS é explicada pelo fato dos SI constituintes poderem deixar o arranjo a qualquer momento e novos constituintes poderem participar para que o propósito da formação possa ser alcançado. É nesse sentido que a mutação do arranjo junto ao encerramento de *links* de **interoperabilidade** acontece em SoIS.

Outro aspecto importante de SoS que deve ser analisado e discutido no domínio de SoIS é quanto à categorização feita com base nas relações entre os constituintes e no que diz respeito ao nível de autoridade e responsabilidade de quem mantém o arranjo. Segundo a literatura especializada, SoS pode ser categorizado como **virtual**, **colaborativo**, **direcionado** ou **reconhecido** (MAIER, 1996; DAHMANN e BALDWIN, 2008). As categorias indicam, no geral, a existência ou não de um nível de controle gerencial, que exerce influência na arquitetura de um SoS, uma vez que determina o quão adaptável e cooperativo cada constituinte será em relação a requisitos, interfaces, formatos de dados e tecnologias.

Um **SoS virtual** não possui nenhuma autoridade gerencial ou órgão de governança central e os participantes podem não estar cientes do propósito do arranjo (MAIER, 1998), logo, não há a ideia de colaboração entre os constituintes. Em um **SoS colaborativo** também não há uma autoridade central obrigando a colaboração. No entanto, os sistemas colaboram com o SoS de forma voluntária, com a ideia de um gerenciamento compartilhado e não por meio de uma organização central de gerenciamento com poder coercitivo para controlar toda a execução do arranjo (MAIER, 1998). Para MAIER (1996) a Internet é um exemplo de SoS colaborativo. O autor discute que o IETF[5] (do inglês, *Internet Engineering Task Force*) define padrões e protocolos, mas sem força de imposição. A diferença entre um SoS virtual e colaborativo tem a ver com percepção ou não da colaboração entre os sistemas. No primeiro, não há ciência do propósito de um arranjo e uma colaboração explícita entre os constituintes. No segundo, há uma certa ciência de que os sistemas juntos colaboram para um propósito específico, mas não há um rígido planejamento dessa colaboração.

Um **SoS direcionado** tem como principal característica a existência de uma autoridade central a fim de garantir que os objetivos do arranjo sejam alcançados. A

[5] http://www.ietf.org

formação desse tipo de SoS é realizada para cumprir propósitos específicos, mantendo a capacidade dos constituintes de operar de forma independente, porém a operação é subordinada à uma autoridade central (MAIER, 1998). MAIER (1998) cita como exemplo a maioria das redes integradas de defesa aérea, que são gerenciadas centralmente para defender uma região contra inimigos, embora seus sistemas componentes mantenham a capacidade de operar de forma independente. Além disso, MAIER (1998) também discute que a Internet começou como um sistema direcionado, controlado pela Agência de Projetos de Pesquisa Avançada dos EUA para compartilhar recursos de computação. Com o tempo, a Internet evoluiu de controle central para mecanismos colaborativos não planejados tornando-se exemplo de SoS colaborativo (MAIER, 1998).

Na categoria de **SoS reconhecido,** discutida por DAHMANN e BALDWIN (2008), existem objetivos acordados e autoridade gerenciadora designada a orquestrar recursos para o SoS. No SoS reconhecido, a autoridade designada busca estabelecer uma gestão colaborativa ao mesmo tempo que mantém a independência gerencial e operacional (técnica) dos constituintes. Como exemplo de SoS reconhecido, pode-se citar uma cidade inteligente, onde diferentes agências independentes públicas e privadas se comunicam formalmente para melhorar a qualidade de vida do cidadão (NCUBE e LIM, 2018).

Tanto o SoS direcionado como o SoS reconhecido têm um controle gerencial centralizado. A diferença é que, no primeiro, os constituintes atuam na colaboração com maior grau de subordinação se comparado a um SoS reconhecido. Pode-se conjecturar que um SoS direcionado deve ser mais facilmente planejado quando os constituintes pertencem a uma mesma organização detentora. Por sua vez, a formação de um SoS reconhecido pode ser mais facilmente aplicada quando o arranjo é ou será formado por sistemas constituintes de diferentes organizações. Nesse caso, o cuidado maior em prover interoperabilidade por meio de arranjos menos desacoplados deve estar em vigência ao longo do projeto de formação de um SoIS.

Diante das categorias analisadas e das características que se aplicam ao domínio de SoIS, pode-se perceber que a aliança é estabelecida entre organizações por meio de seus constituintes em uma perspectiva colaborativa planejada (FERNANDES e SANTOS, 2017a). Como tal, uma autoridade central pode ser designada para gerenciar o objetivo do arranjo. Considerando a natureza de negócio dos SI e a necessidade de uma autoridade para gerenciar metas e recursos humanos envolvidos, conjectura-se nessa dissertação que um SoIS deva ser direcionado ou reconhecido.

Nesse sentido, garante-se que as preocupações não somente técnicas inerentes aos SI (tecnologias, processos e pessoas) sejam contempladas. Assim, um gerente deve ser

designado com base na negociação formal entre as partes para conduzir as operações de um SoIS (DAHMANN e BALDWIN, 2008). Essa conjectura sobre as classificações para o domínio de SoIS se justifica pela necessidade de meios que auxiliem o *design* dos *links* de interoperabilidade para que comportamentos emergentes desejáveis (i.e., previstos) aconteçam na formação desses arranjos. Nesse sentido, a próxima seção se dedica a aprofundar o tema de interoperabilidade.

2.2. Interoperabilidade

De acordo com o glossário da IEEE, interoperabilidade é a capacidade de dois ou mais sistemas ou componentes de sistemas de trocar informações e usar as informações trocadas, incluindo as que tenham sido alteradas (IEEE, 1990). No entanto, o conceito de interoperabilidade é multidimensional e pode ser entendido e abordado sob várias perspectivas e direções (JAVANBAKHT, 2008; KUZIEMSKY e WEBER-JAHNKE, 2009; KAJAN, 2011).

Tabela 1. Dimensões de interoperabilidade.
Traduzido e evoluído de KUBICEK e CIMANDER (2009).

Dimensão	Objetivo	Objetos	Soluções	Estado do Conhecimento	Fonte
Legal	Operação entre SI sob estruturas legais, políticas e estratégias.	Acordos	Legislação, políticas.	Há estudos que auxiliam a promoção de um ambiente "legalmente interoperável" por meio de tecnologias.	BELLI e FODITSCH (2016)
Organizacional	Vinculação automática de processos entre diferentes SI.	Processos (fluxo de trabalho)	Modelos arquitetônicos, elementos de processo padronizados, e.g., arquitetura orientada a serviços (SOA) com WSDL, BPML.	Ainda falta clareza conceitual, conceitos vagos com um amplo escopo de interpretação.	KUBICEK e CIMANDER (2009)
Pragmática	Colaboração entre SI capaz de capturar os desejos de colaboração entre aqueles que solicitam e enviam dados.	-	-	Poucos estudos focam em enfrentar níveis complexos, como o pragmático.	MACIEL et al. (2017)
Semântica	Processamento e interpretação de dados recebidos.	Informação	Diretórios comuns, chaves de dados, ontologias.	Teoricamente desenvolvido, mas apresenta problemas de implementação na prática.	KUBICEK e CIMANDER (2009)
Sintática	Processamento de dados recebidos.	Dados	Formatos padronizados de troca de dados, e.g., XML, JSON, CSV.	Totalmente desenvolvido.	KUBICEK e CIMANDER (2009)
Técnica	Transferência de dados tecnicamente segura.	Sinais	Protocolos de transferência de dados.	Totalmente desenvolvido.	KUBICEK e CIMANDER (2009)

A interoperabilidade é usualmente entendida sob a perspectiva de níveis, camadas ou dimensões estabelecidas no intuito de fornecer alguma orientação para alcançá-la (MACIEL et al., 2017; KUBICEK e CIMANDER, 2009). A classificação em torno dessas perspectivas se refere ao que deve ser provido e por quais meios técnicos a interoperabilidade deve ser estabelecida (KUBICEK e CIMANDER, 2009). As dimensões mais comumente aceitas são: **legal**, **organizacional**, **pragmática**, **semântica**, **sintática** e **técnica**. Alguns estudos da literatura reúnem as características e abordam o estado de conhecimento relacionados a cada uma delas, conforme sumariza a Tabela 1.

A dimensão **legal** lida com a garantia de que as organizações que operam sob diferentes estruturas, políticas e estratégias são capazes de trabalhar juntas (LEAL, 2019). A promoção de um ambiente "legalmente interoperável" serve como instrumento para um melhor funcionamento de um ambiente como o da Internet (BELLI e FODITSCH, 2016). Lidar com a dimensão legal corresponde à busca pelo ideal de que novas tecnologias possam ser estimuladas e que o livre fluxo de informações não seja prejudicado por leis divergentes (BELLI e FODITSCH, 2016).

A dimensão **organizacional** se refere à maneira pela qual as organizações alinham seus processos de negócios, responsabilidades e expectativas para atingir os objetivos acordados (LEAL, 2019). Alguns desafios existentes nessa dimensão são devidos à falta de clareza conceitual e amplo escopo de interpretação (KUBICEK e CIMANDER, 2009). Alguns exemplos desses desafios incluem: (i) definição do que deve ser padronizado; (ii) quem poderia desenvolver e estabelecer padrões apropriados; e (iii) o que é necessário para a operacionalização e manutenção de padrões (KUBICEK e CIMANDER, 2009).

A dimensão **pragmática** estende aspectos não cobertos pelas dimensões sintática e semântica, porque está relacionada à capacidade dos SI que interoperam de capturar intenções de colaboração entre aqueles que solicitam e enviam os resultados (KUBICEK e CIMANDER, 2009; MACIEL et al., 2017). Nesse caso, a dimensão pragmática trata do grau de concordância entre as definições que devem ser entendidas mutuamente no uso dos dados trocados entre os SI. No que tange aos sistemas, interoperabilidade pragmática significa compartilhar o mesmo entendimento do uso pretendido e real da mensagem trocada em um determinado contexto (ASUNCION e VAN SINDEREN, 2010). Para os negócios, a dimensão pragmática vai além do uso de serviços. Essa dimensão considera a compatibilidade de intenções e regras de negócios, políticas organizacionais, o estabelecimento e manutenção de mecanismos de confiança e a reputação entre as partes envolvidas (ASUNCION e VAN SINDEREN, 2010).

A dimensão **semântica** trata o significado por trás de cada troca entre os SI que interoperam. Em torno da semântica, existem conceitos e métodos disponíveis que buscam assegurar um significado preciso dos dados e informações trocados no intercâmbio entre SI (KUBICEK e CIMANDER, 2009; LEAL, 2019a). Habilitar interoperabilidade entre aplicações requer concordância no formato e significado (sintaxe e semântica) dos dados trocados, incluindo a ordem das trocas de mensagens (ASUNCION e VAN SINDEREN, 2010).

A dimensão **sintática** abrange os formatos de arquivos e dados para que a troca entre os SI seja de fato efetivada. Essa dimensão também lida com padrões e formatos já estabelecidos como XML[6], JSON[7] e CSV[8]. *Frameworks* e estudos abordam os serviços de troca de dados (dimensão sintática) como aspecto da dimensão técnica, não diferenciando suas camadas (VERNADAT, 2010; CHEN , 2017; LEAL, 2019a). Por sua vez, a dimensão **técnica** abrange a infraestrutura responsável pela ligação direta entre os SI que interoperam. Essa dimensão inclui os canais de comunicação utilizados para efetivar a interoperabilidade no tocante aos serviços de interconexão/integração direta (LEAL, 2019a). Além disso, inclui protocolos de comunicação que lidam com padrões já estabelecidos como TCP/IP desenvolvidos e publicados por organizações internacionais de padrões (KUBICEK e CIMANDER, 2009).

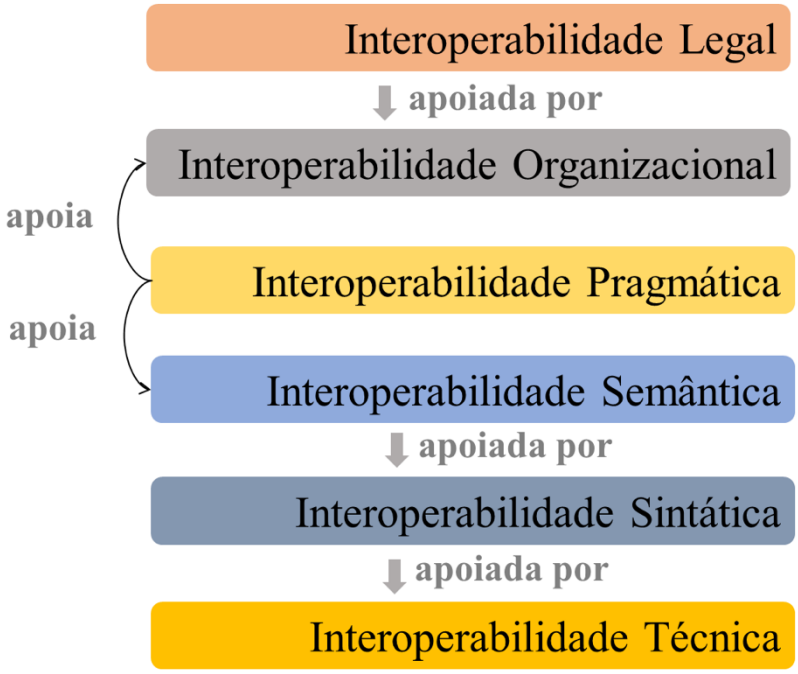


Figura 3. Dimensões de interoperabilidade comumente estudadas.

[6] https://www.w3.org/TR/xml/
[7] http://www.json.org/
[8] https://tools.ietf.org/html/rfc4180#page-2

Em resumo, sobre as dimensões de interoperabilidade, pode-se entender que: (i) a interoperabilidade legal lida com acordos ou legislação pelos quais as organizações estão sujeitas ao interoperar seus SI; (ii) a organizacional lida com o motivo da interoperação; (iii) a pragmática trata de como as informações trocadas estão sendo utilizadas; (iv) a semântica lida com o que está interoperando; e (v) a técnica e sintática tratam dos meios com os quais os sistemas estão interoperando, como mostra a Figura 3.

Essas classificações não indicam como padrões são estabelecidos e implementados e nem por quem uma determinada atividade deve ser feita (KUBICEK e CIMANDER, 2009). Sendo assim, a perspectiva de ator ou governança está ausente (KUBICEK e CIMANDER, 2009). As áreas de pesquisas e soluções práticas para lidar com interoperabilidade buscam direcionar esforços para solucionar questões ou minimizar barreiras relacionadas a cada uma das dimensões acima mencionadas. *Frameworks* como *Government Interoperability Framework* (e-GIF)[9], Padrões de Interoperabilidade de Governo Eletrônico (e-PING)[10] e *European Interoperability Framework* (EIF)[11] dão suporte a organizações governamentais para que alcancem níveis adequados de interoperabilidade por meio de um conjunto de normas, diretrizes e especificações técnicas (FERNANDES e SANTOS, 2017b). Porém, estudos apontam que as dimensões semântica e organizacional ainda apresentam desafios na prática (CAIRE et al., 2013; BOSCARIOLI et al., 2017). Esses desafios podem estar relacionados ao fato dessas dimensões envolverem conceitos, preocupações e barreiras que vão além de questões técnicas. Um exemplo disso são as diferentes parcerias de negócios que podem ser estabelecidas para interoperabilidade, a heterogeneidade de processos de negócios ou até mesmo as diversidades culturais envolvidas em torno dos *stakeholders* dos SI que interoperam.

O livro dos grandes desafios de pesquisa na área de SI no Brasil discute ainda o suporte a todos os níveis de interoperabilidade em domínios específicos, conhecido como interoperabilidade plena (BOSCARIOLI et al., 2017; MACIEL et al., 2017). Para que a interoperabilidade plena seja alcançada em um nível dinâmico, os sistemas devem ser capazes de entender, por exemplo, as mudanças que ocorrem nas restrições e regras de negócios e tratá-las adequadamente (MACIEL et al., 2017). A pesquisa em SoIS tem buscado atuar para que a interoperabilidade plena seja alcançada. Nesse sentido, investigar interoperabilidade em SoIS pode requerer uma lente teórica que não apenas

[9] https://www.dit.gov.bt/e-gifnea
[10] http://eping.governoeletronico.gov.br/
[11] http://ec.europa.eu/idabc/servlets/Docd552.pdf?id=19529

considere as dimensões da interoperabilidade isoladamente, mas também incluam fatores concomitantes (como aspectos organizacionais e humanos) que influenciam na sua efetiva implementação. A próxima seção discute interoperabilidade no contexto de SoIS.

2.3. Interoperabilidade em Sistemas-de-Sistemas de Informação

A interoperabilidade plena é pretendida no domínio de SoIS. Isso indica que a formação do arranjo deve ser projetada de modo que o SoIS possa ser confiável, ou seja, capaz de continuar operando apesar de falhas ou ameaças (GRACIANO NETO et al., 2017c). Outro aspecto desejável é que a interoperabilidade em SoIS seja pensada de modo a preservar características como a autonomia dos SI constituintes. Isso é particularmente desafiador em SoIS porque, se soluções de integração padrão forem simplesmente aplicadas, o arranjo pode apresentar um forte acoplamento ferindo a independência dos SI.

A habilidade denominada interoperabilidade plena representa o mais alto nível de interoperação pretendido, no qual novos constituintes possam formar um SoIS espontaneamente em resposta a demandas por novas missões (GRACIANO NETO et al., 2017c). Por outro lado, o fato de um SoIS ser formado por SI independentes faz com que o arranjo apresente uma arquitetura mutável (dinâmica), pois os constituintes podem deixar o SoIS a qualquer momento. Tal característica também influenciará a forma como os enlaces de interoperabilidade são estabelecidos, geridos, mantidos e desfeitos no domínio de SoIS.

A Engenharia de SoIS demanda questões relacionadas a (i) modelagem, *design* e simulação de arquiteturas; (ii) definição, elaboração e especificação de objetivos de um SoIS; e (iii) *design* de mecanismos para lidar com comportamentos emergentes (GRACIANO NETO et al., 2016). Desse modo, SoIS se apresenta como um arranjo dinâmico de múltiplos SI que materializa uma aliança interorganizacional a fim de entregar novos serviços para a sociedade. Essa aliança acontece quando SI que compõem o arranjo pertencem a diferentes organizações.

Por outro lado, alguns estudos também apontam a formação de um SoIS com SI constituintes pertencentes a uma mesma organização, porém operacionalizados para alcançar propósitos individuais e específicos (GRACIANO NETO et al., 2016; GRACIANO NETO et al., 2017b). Mesmo nesse caso, SI devem manter a autonomia por serem gerenciados por unidades organizacionais ou equipes de gerência distintas

(diferentes níveis de gerência ou pertencentes a gerências/equipes diferentes), ainda que em uma mesma organização.

Um exemplo disso pode ser uma instituição de ensino pública que necessita cumprir uma meta emergente e/ou pontual que, para ser cumprida, demanda a construção de um novo SI, o que não é viável. A meta nesse cenário é viabilizar uma modalidade temporária de ensino remoto durante o período de quarentena imposto pela pandemia da covid-19[12]. Para viabilizar isso, um time de gestão necessita ter acesso ao SI responsável por gerir as informações acadêmicas de discentes (setor acadêmico) (SI-a), ao SI responsável por gerir as informações socioeconômica de discentes (setor de assistência estudantil) (SI-b) e ao SI responsável por gerir informações relacionadas às disciplinas ministradas pelos docentes no período em vigência (setor acadêmico) (SI-c).

Para cumprir o objetivo principal da formação desse arranjo, a interoperabilidade em torno dos três SI citados é necessária, embora eles não tenham sido desenvolvidos para interoperarem entre si. O SI-a é capaz de prover a quantidade de discentes com matrícula vigente no período da pandemia, bem como os dados relacionados a disciplinas matrículas e carga horária. O SI-b é capaz de prover dados socioeconômicos dos discentes necessários para que o time de gestão possa ter conhecimento e planejar/discutir a viabilidade imediata ou não do ensino remoto mediado por tecnologias que necessitem de acesso à Internet ou disciplinas que dependam da utilização computadores pessoais. Por fim, o SI-c é capaz de prover dados relacionados a disciplinas, turmas e disponibilidade de horários de docentes para que as aulas sejam ministradas nessa modalidade temporária. Esses SI possuem autonomia porque operam em prol dos seus objetivos particulares e são geridos por diferentes gerências que pertençam a uma mesma organização. Como não foram concebidos previamente para interoperarem, o desafio é formar *links* de interoperabilidade entre eles para que o objetivo principal seja cumprido.

A justificativa para a formação de um SoIS se deve à necessidade de entregar novos serviços que não poderiam ser prestados se essas organizações não fizessem parte de um consórcio e, consequentemente, seus SI não interoperassem. Como o SoIS exibe uma forte natureza de negócios, a interoperabilidade precisa ser bem compreendida para que todas as partes interessadas envolvidas no arranjo por meio de seus SI possam ser beneficiadas (FERNANDES e SANTOS, 2017a). Além disso, deve-se considerar que os *links* de interoperabilidade estabelecidos podem ser desfeitos a qualquer momento.

[12] https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public

A depender das estratégias escolhidas para estabelecer vínculos de interoperabilidade entre SI independentes para a formação de um SoIS, as características mencionadas podem ser afetadas. De acordo com a ISO 14258 (ISO, 1999), o estabelecimento de interoperabilidade em arranjos de sistemas pode ser feito por três abordagens (ou paradigmas) arquitetônicas, tais como: **integrada**, **unificada** e **federada** (CHEN, 2017). Quando usadas, essas abordagens podem ou não afetar características do SoIS.

A **abordagem integrada** significa que existe um formato padrão ou compartilhado para todos os sistemas constituintes (CHEN e DOUMEINGTS, 2004; KOSANKE, 2006; WEICHHART e WACHHOLDER, 2014). A interface é padronizada de acordo com o alinhamento de sistemas (WEICHHART e WACHHOLDER, 2014). O paradigma integrado consiste em usar um modelo compartilhado para representar todos os modelos em questão ou para a construção de sistemas (NAUDET et al., 2010).

Na **abordagem unificada**, um meta-modelo é usado e serve como uma referência comum a modelos semânticos e sintáticos (NAUDET et al., 2010). Um meta-modelo permite uma tradução entre os modelos constituintes, embora a perda de alguma semântica ou informação possa ocorrer (TU et al., 2016). Isso acontece porque as necessidades individuais não podem ser representadas diretamente (TU et al., 2016).

Por fim, a **abordagem federada** estabelece a interoperabilidade de tal maneira que não se impõe modelos, linguagens e métodos de trabalho (WEICHHART e WACHHOLDER, 2014). Nesse caso, os arranjos de sistemas devem identificar e se adaptar aos requisitos em tempo de execução (WEICHHART e WACHHOLDER, 2014). Ao contrário das duas outras abordagens, não há nada imposto e os problemas de interoperabilidade são corrigidos enquanto todo o arranjo está em execução (NAUDET et al., 2010; TU et al., 2016). Nessa abordagem, os modelos devem ser adaptados dinamicamente, em vez de ter um meta-modelo pré-determinado (KOSANKE, 2006; NAUDET et al., 2010).

LI et al. (2015) defendem que a metodologia de pesquisa de interoperabilidade deve ser um paradigma de solução de problemas que deve abranger todos os processos iterativos do SI, incluindo análise, projeto, implementação, gerenciamento e o uso de SI interoperáveis. Esse paradigma metodológico da pesquisa de interoperabilidade envolve questões que se aplicam à investigação do domínio de SoIS. Por essa razão, buscou-se nesta pesquisa investigar a base teórica e a base de conhecimento da interoperabilidade para ajudar a entender a natureza da interoperação em SoIS. Portanto, conjectura-se que a interoperabilidade em SoIS deve ser abordada por uma visão holística que englobe

dimensões e um conjunto de fatores que a influenciam para que a natureza de negócio dos SI seja contemplada.

A visão holística busca auxiliar na construção de um corpo de conhecimento sobre interoperabilidade que ajude a entender a natureza da interoperação no contexto mutável (dinâmico) do SoIS, como mostra a Figura 4. Dessa forma, decidiu-se investigar fatores técnicos, humanos e organizacionais que podem influenciar o *design* de *links* de interoperabilidade em SoIS, além de investigar as dimensões mais apropriadas para o contexto. Junto a isso, buscou-se investigar práticas para o estabelecimento ou encerramento de *links* de interoperabilidade nesse domínio.

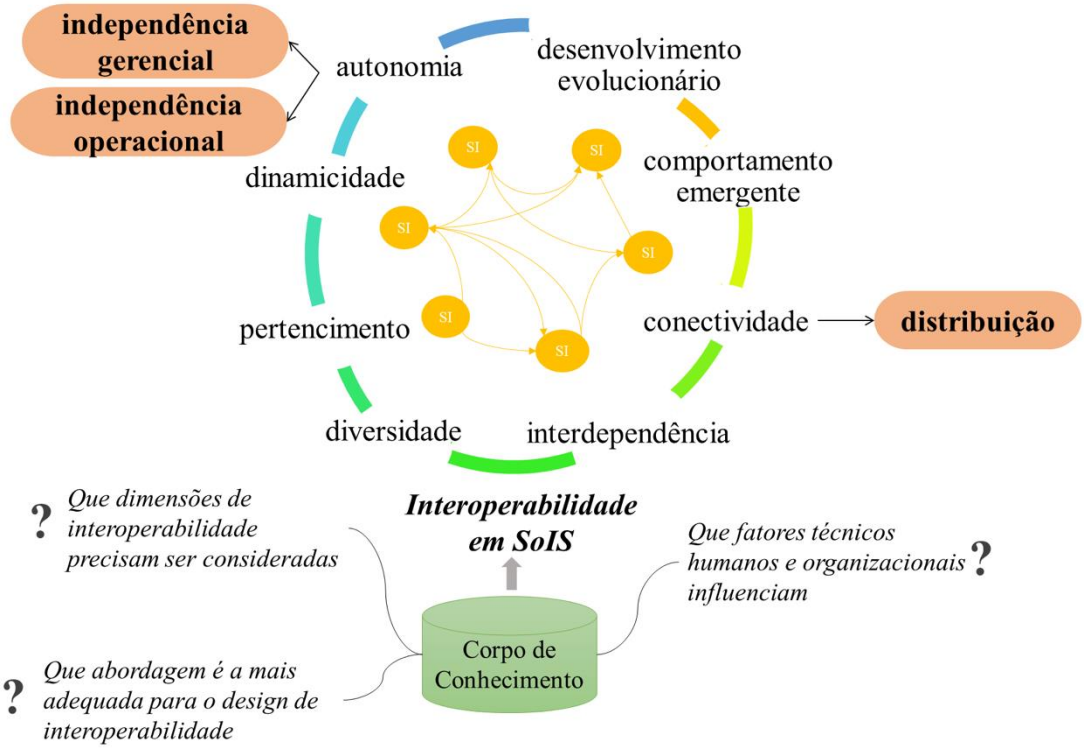


Figura 4. Necessidades para o corpo de conhecimento relacionado a interoperabilidade em SoIS.

2.4. Trabalhos Relacionados

O trabalho diretamente relacionado à esta dissertação representa o alicerce da pesquisa em SoIS: TEIXEIRA et al. (2019) apontam que estudos que tratam de interoperabilidade em SoIS ainda são incipientes. Os resultados revelam que a interoperabilidade entre diferentes SI é um desafio. Além disso, o baixo número de estudos referentes a linguagens, técnicas e ferramentas para modelagem de arquiteturas em SoIS aponta para um importante campo de estudo a ser pesquisado nos próximos anos (TEIXEIRA et al., 2019). A maioria dos trabalhos que abordam interoperabilidade e são mais próximos do domínio de SoIS são direcionados somente a SoS e, nesse ponto, as

preocupações são voltadas para a integração técnica entre sistemas ou agentes de software.

Um exemplo disso é o trabalho de MENDES (2018), que relata a implementação de uma plataforma de *middleware* para realizar a interoperabilidade entre SI, denominada *Mandala*. Esta plataforma distribuída utiliza em sua composição agentes de software para realizar a interoperabilidade entre sistemas, procurando diminuir a complexidade da negociação de comunicação entre eles. *Mandala* permitiu (i) integrar sistemas utilizando os conceitos do SoS e (ii) possibilitou que os sistemas constituintes pudessem colaborar com o SoS de forma transparente. O autor aponta que o estudo de caso não foi realizado com sistemas em produção, o que pode subestimar algum tipo de dificuldade nessa integração proposta. O trabalho de MENDES (2018) é um exemplo de estudo que evidencia a lacuna de discussão de aspectos que vão além da integração dos múltiplos constituintes do arranjo.

A necessidade da discussão de aspectos além dos técnicos é um ponto de vista apoiado por BOEHM (2006), que defende a ideia da investigação em SoS não considerar somente a integração dos sistemas desenvolvidos de forma independente. Tal discussão considera o fato desses arranjos evoluírem dinamicamente com requisitos e comportamentos emergentes. Outro ponto é que esses arranjos dinâmicos possuem questões sociotécnicas complexas que a pesquisa em SoIS busca abordar.

Até onde se percebeu, nenhum estudo combinou a análise e discussão de fatores que influenciam a interoperabilidade em SoIS, contemplando a sinergia entre elementos técnicos, humanos e organizacionais para o *design* de *links* de interoperabilidade. Esta dissertação, portanto, amplia o corpo de conhecimento da pesquisa em SoIS ao discutir fatores de influência e produzir diretrizes que apoiem o *design* de *links* de interoperabilidade nesse domínio.

2.5. Considerações Finais

Esse capítulo apresentou a primeira fase da pesquisa, que envolveu uma revisão informal da literatura. Por meio do estudo realizado nessa fase, foi possível perceber que, apesar dos benefícios de estabelecer *links* de interoperabilidade entre diversos SI, a interoperabilidade no domínio de SoIS ainda é um desafio importante. As características inerentes a essa subclasse de sistemas complexos, em particular autonomia, heterogeneidade e dinamismo, fazem com que se almeje estabelecer *links* de

interoperabilidade de maneira a não afetar características essenciais e inerentes ao domínio de SoIS.

O trabalho relacionado a esta dissertação que representa o alicerce da pesquisa em SoIS aponta para a necessidade de expandir a discussão relacionada a interoperabilidade nesse domínio (TEIXEIRA et al., 2019). Embora boa parte das pesquisas voltadas para interoperabilidade sejam voltadas para SoS, algumas lições podem ser adquiridas para evoluir a pesquisa em SoIS para que se tenha maior eficácia de resultados em um contexto interorganizacional e intraorganizacional.

A interoperabilidade planejada puramente sob a perspectiva da integração técnica entre os SI pode afetar a autonomia dos constituintes que foram desenvolvidos para cumprir propósitos individuais e não somente para atender necessidades de negócios do SoIS. Logo, tornou-se necessário um estudo que concilie questões técnicas, organizacionais e de negócios, além de fatores humanos inerentes ao contexto de qualquer SI. Foi possível identificar que a literatura que trata de interoperabilidade em SoIS é insipiente, justificando maior aprofundamento sobre o assunto. Conjecturou-se que a interoperabilidade em SoIS pode ser abordada por uma visão holística que englobe um conjunto de fatores que a influenciam.

Portanto, decidiu-se investigar os fatores técnicos, humanos e organizacionais que podem influenciar o *design* de *links* de interoperabilidade em SoIS por meio de estudos secundários. O próximo capítulo apresenta dois estudos de mapeamento sistemático conduzidos para explorar fatores de influência e conhecer o estado da arte de interoperabilidade.

Capítulo 3. Fatores de Influência para Interoperabilidade

Esse capítulo tem como objetivo apresentar os estudos conduzidos para se investigar fatores de influência para interoperabilidade em SoIS, conforme indicado pelos resultados do Capítulo 2. O Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) apresentado nesse capítulo permitiu ao final a identificação de 10 fatores técnicos, humanos e organizacionais que podem influenciar a interoperabilidade no domínio de SoIS. O capítulo inicia com uma seção introdutória que apresenta a motivação para a condução do MSL (Seção 3.1), bem como os resultados (Seção 3.1.1) e as necessidades de pesquisa identificadas (Seção 3.1.2). Em seguida, o capítulo apresenta o protocolo do estudo longitudinal (extensão e refinamento do MSL inicialmente conduzido), detalhes sobre a execução do estudo longitudinal (Seção 3.2), resultados (Seção 3.3), análise e discussão (Seção 3.4). Além disso, a Seção 3.5 apresenta estudos secundários relacionados a interoperabilidade no contexto de SoIS e suas variações. Por fim, alguns conceitos transversais ao domínio de SoIS (Seção 3.6) são discutidos brevemente, bem como trazidas as ameaças à validade (Seção 3.7) e as considerações finais (Seção 3.8).

3.1. Introdução

Após a fase de revisão informal da literatura, na fase 2 da pesquisa, buscou-se formalizar um protocolo para conduzir um mapeamento sistemático da literatura. O objetivo desse mapeamento foi identificar fatores (i.e., técnicos, humanos e organizacionais) (SANTOS et al., 2016) que influenciam na interoperabilidade no contexto de SoIS. Três passos foram realizados: (1) planejamento, (2) condução e (3) análise dos resultados. O estudo foi conduzido conforme as diretrizes de KITCHENHAM e CHARTERS (2007).

A questão de pesquisa que expressa os objetivos foi formulada seguindo os critérios especificados por PICOC (*Population*, *Intervention*, *Comparison*, *Outcomes*, *Context*) (KITCHENHAM e CHARTERS, 2007). Por se tratar de um mapeamento, apenas PIO foi utilizado nesse estudo. **População** consistiu em sistemas de informação, sistemas-de-sistemas e sistemas-de-sistemas de informação; **Intervenção** em métodos, técnicas, tecnologias, ferramentas, padrões e requisitos de interoperabilidade; e **Resultado** em fatores de influência. Uma vez que SoIS é um tema em amadurecimento na pesquisa em

SI e Engenharia de Software, existem poucos trabalhos cuja abordagem é específica para lidar com interoperabilidade em SoIS. Portanto, buscou-se expandir o escopo da população incluindo pesquisas relacionadas a SI no geral e SoS, dado que SoIS é uma subclasse de sistemas que herda as características de SoS.

O objetivo foi formalizado com base no GQM (*Goal-Question-Metric*) (BASILI, 1992): **analisar** métodos, técnicas, tecnologias, ferramentas, padrões e requisitos **com o propósito de** caracterizar **com respeito aos** fatores que influenciam interoperabilidade em sistemas de informação **do ponto de vista de** pesquisadores **no contexto de** sistemas-de-sistemas de informação. A principal questão de pesquisa (**QP**) norteadora deste estudo foi ***"Que fatores influenciam interoperabilidade no domínio de SoIS considerando contexto, domínio e tipos de soluções aplicadas em SI?"***. Porém, para ajudar a responder a QP, subquestões (Sub-Qs) foram formuladas no intuito de viabilizar a extração dos fatores. As Sub-Qs definidas foram:

- **Sub-Q1**: *Que tipos de solução são utilizadas para prover interoperabilidade em SI?*
- **Sub-Q2**: *Em que contexto as soluções de interoperabilidade foram aplicadas?*
- **Sub-Q3**: *Em que domínios as soluções de interoperabilidade foram desenvolvidas?*
- **Sub-Q4**: *Que dimensões de interoperabilidade têm sido contempladas?*

Uma *string* de busca foi formulada e a ela foi acrescentado um filtro que engloba as pesquisas dos últimos 10 anos (2008-2018). Tal decisão foi feita pois, até aquele momento, sabia-se que o estudo sobre SoIS aconteceu na última década, salvo escassos estudos na década de 1990 (GRACIANO NETO et al., 2017c). Esse mapeamento concentrou-se nas soluções de computação, excluindo-se outros domínios. Dessa forma, um filtro foi aplicado selecionando a subárea da Computação. A complementação da busca com eventuais artigos anteriores se deu via *snowballing* (JALALI e WOHLIN, 2012). A *string* de busca básica formulada foi:

("interoperability") AND ("information systems" OR "system of systems" OR "system-of-systems" OR "system of information systems") AND ("standard" OR "pattern" OR "model" OR "method" OR "technique" OR "requirement" OR "technology" OR "technologies" OR "tool" OR "factor" OR "dimension")

A *string* completa com os filtros aplicados está disponível no Apêndice II. Embora a Scopus seja considerada a maior base de dados de indexação de resumos e citações (KITCHENHAM e CHARTERS, 2007), buscas na *Engineering Village*, ACM, *Science*

Direct e *IEEE Xplore* também foram executadas para reforçar a consistência dos artigos retornados. Uma vez que há resultados no *Google Scholar* não encontrados em outras bases, a busca nesta biblioteca foi realizada como complementação. Embora não haja um número específico que represente o quantitativo dos resultados mais relevantes, pesquisas indicam que o *ranking* se dá pelas citações recebidas por ano de publicação (MARTÍN-MARTÍN et al., 2016; ROVIRA et al., 2019). Devido ao quantitativo de respostas, para essa pesquisa, os 60 primeiros resultados retornados no *Google Scholar* foram considerados como os mais relevantes. A relação das fontes de buscas utilizadas está listada no Apêndice II.

As etapas do processo de seleção e extração de dados são sumarizadas e exibidas na Figura 5. No decorrer da execução das etapas de seleção, critérios de inclusão (CI), critérios de exclusão (CE) e critérios de qualidade (CQ) foram aplicados e estão descritos no Apêndice II.

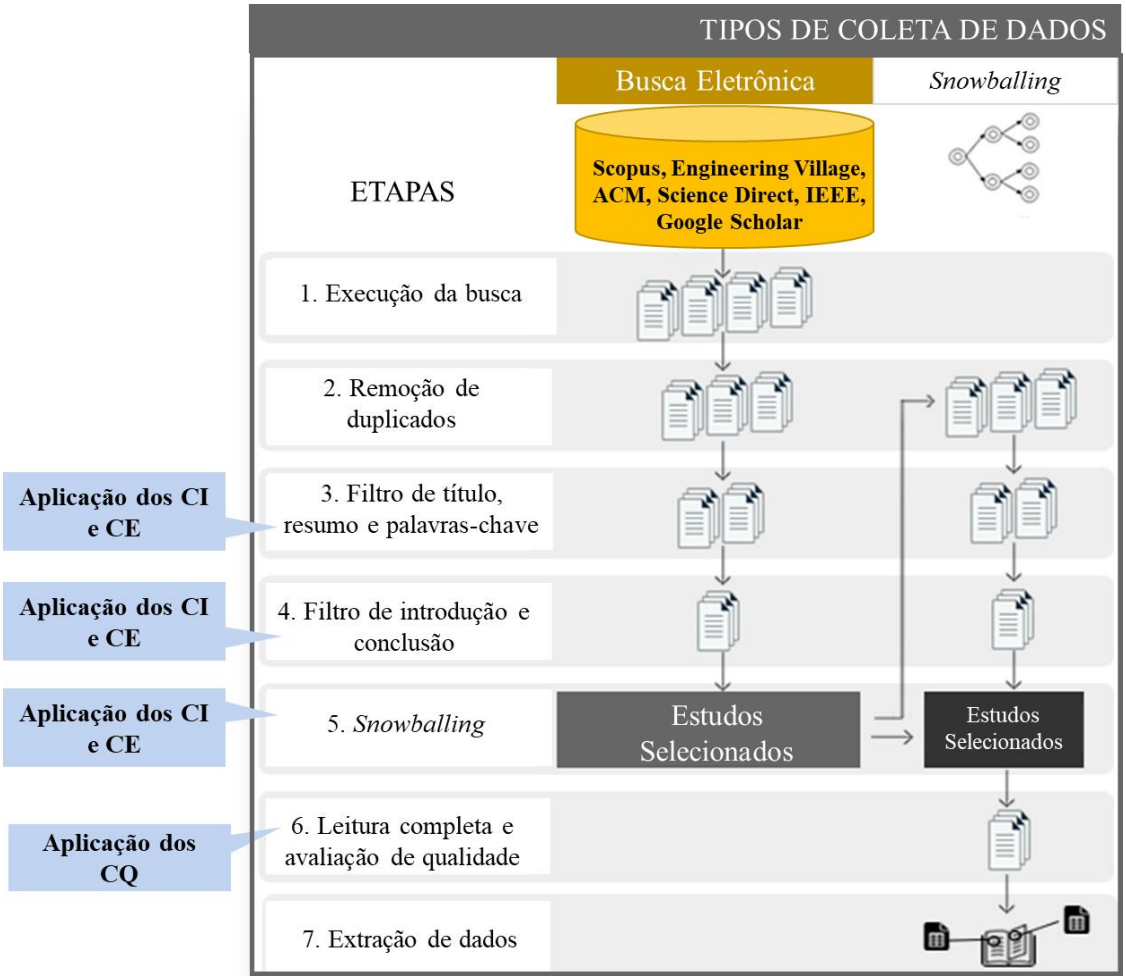


Figura 5. Etapas do processo de seleção e extração de dados do primeiro MSL.

O processo de extração dos dados se deu por meio de um formulário para o registro dos dados relacionados à leitura de cada artigo. O formulário de extração registrou os

dados necessários para responder às Sub-Qs e os campos definidos também estão sumarizados no Apêndice II. No total, foram **20 estudos** incluídos para a extração de dados, sendo que o conjunto de estudos selecionados após a etapa final estão tabelados no Apêndice II. A visão geral dos resultados obtidos em cada etapa do processo de seleção cuja execução se deu entre os meses de maio e junho de 2018 é ilustrada na Figura 6.

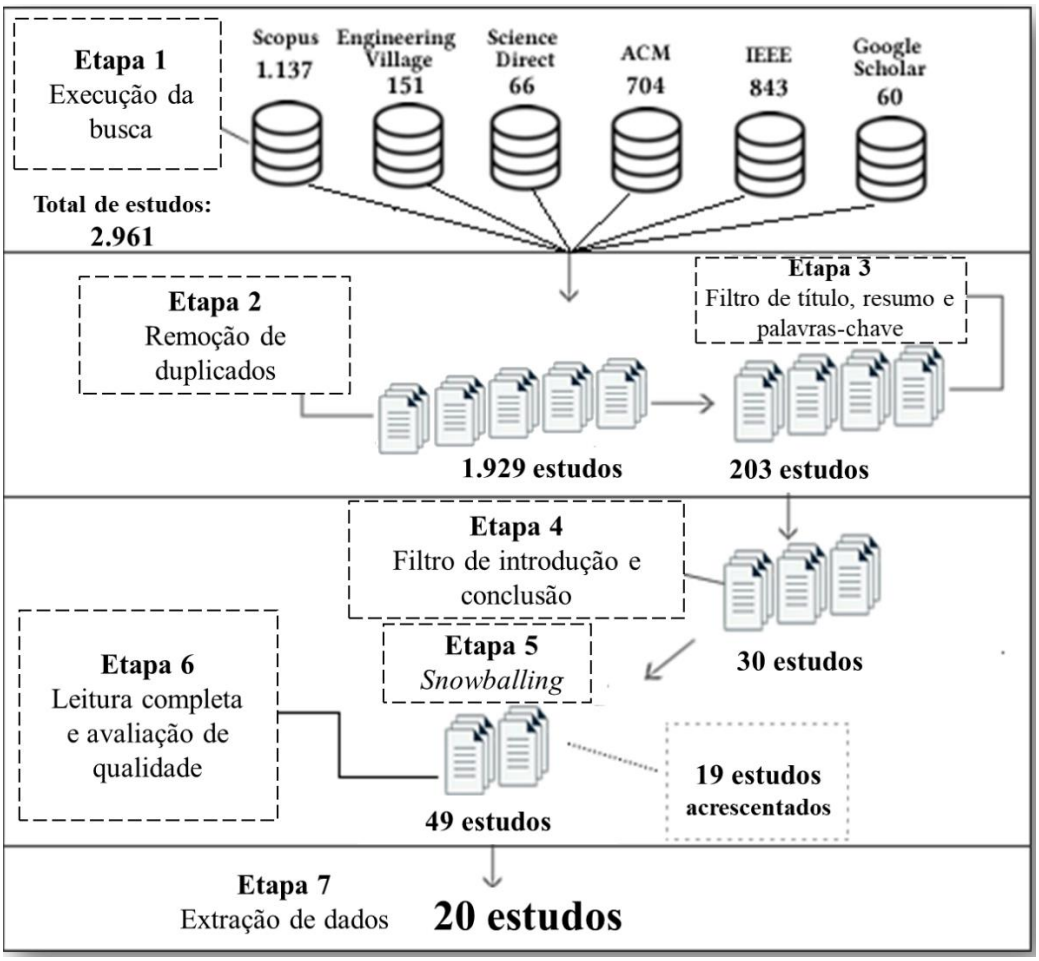


Figura 6. Visão geral dos resultados do primeiro MSL (FERNANDES et al., 2018).

3.1.1. Resultados do Mapeamento Sistemático da Literatura

Por meio dos resultados, as questões investigadas neste mapeamento foram respondidas. As respostas foram extraídas dos estudos selecionados e o rastreamento delas é apresentado por meio da identificação da publicação (i.e., estudo) representado por **E+*numero_do_estudo***. A **Sub-Q1** investigou que ***tipos de solução são utilizadas para prover interoperabilidade em SI***. Os resultados obtidos mostraram que a interoperabilidade tem sido provida por meio de **instrumento de medição** (E4, E9); **arquitetura** e, dentre as soluções citadas, estudos focam no uso de arquitetura de sistema (E1, E14) e de arquitetura orientada a agentes (E11); ***framework*** do tipo conceitual ou teórico (E2, E3, E5, E7, E8, E10, E13, E19), bem como para troca automática de

documentos (E20); **metodologia** (E6); **modelos**, seja para aplicação de interoperabilidade (E12) ou para adaptação de interfaces (E15); **plataforma** de software (E16); **ontologia** (E17); e ***middleware*** (E18). A maioria dessas soluções (instrumento de medição, arquitetura, *framework*, metodologia, modelos, ontologia) são utilizadas como um guia para que equipes ou profissionais responsáveis em viabilizar a interoperabilidade entre SI possam implementar as soluções tecnológicas para a troca de dados (plataforma de software e *middleware*).

A **Sub-Q2** investigou em ***que contexto as soluções de interoperabilidade foram aplicadas***. Os resultados mostraram que as soluções têm sido aplicadas em SI que, por alguma necessidade específica, é requisitado a interoperar com outro SI (E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9, E10, E11, E12, E13). Nesse caso, a interoperabilidade entre apenas dois SI foi discutida. Outros estudos discutem soluções para interoperabilidade de SI considerando algum tipo de arranjo de sistemas com mais de dois SI. O estudo E1, por exemplo, propõe uma arquitetura de sistemas para lidar com um arranjo de SI heterogêneos. Em E14, os autores propõem uma arquitetura de sistemas para lidar com um arranjo de sistemas denominado sistemas federados. Destaca-se que esses estudos discutem arranjos de SI que mais se aproximam a um contexto de SoIS.

A **Sub-Q3** buscou investigar em ***que domínios as soluções de interoperabilidade foram desenvolvidas***. Os resultados mostraram que os estudos investigam domínios de saúde (E5, E7, E11), gestão empresarial/industrial (E2, E4, E6, E8, E18, E19), seguros (E3), seguridade social (E12), segurança pública (E16), militar (E17), governamental (E9, E10), portuário (E14) e bancário (E15). Os estudos que não especificaram domínios foram categorizados como soluções para domínio geral (E1, E20).

Por sua vez, a **Sub-Q4** buscou investigar ***que dimensões de interoperabilidade têm sido contempladas***. Nesse caso, os resultados mostraram que, no geral, as dimensões contempladas nos artigos foram a **técnica** (E2, E3, E5, E9, E10, E11, E14, E16, E18), **semântica** (E1, E6, E10, E12, E14, E15, E17, E18, E19, E20) e **organizacional** (E2, E3, E5, E7, E8, E9, E10, E11, E13, E15, E18). No entanto, alguns estudos abordam mais de uma dimensão.

Para além dessas dimensões, foram identificadas também a dimensão estrutural (E14) e política (E16). A dimensão estrutural não é explicitamente caracterizada pelos autores. Porém, de acordo com as discussões levantadas, pode estar relacionada à dimensão técnica. A dimensão política foi relatada devido à natureza da solução estar voltada a políticas de segurança pública que, geralmente, são complexas e dinâmicas. A

dimensão política pode estar associada à dimensão legal discutida na Seção 2.2, que lida com acordos ou legislação os quais as organizações estão sujeitas.

A **QP** que investiga ***fatores que influenciam a interoperabilidade em SI no domínio de SoIS*** pode ser respondida por meio de algumas evidências de fatores identificados nas discussões dos estudos selecionados. Embora esses estudos não tenham sido direcionados para a identificação desses fatores, os autores discutem elementos considerados importantes para interoperabilidade. Nesse caso, observou-se uma tendência dos autores em discutir mais as barreiras do que as influências positivas ao lidar com interoperabilidade. Para investigar os fatores, foi utilizado um método que consistiu em quatro etapas: (1) definir a lente teórica; (2) definir a categorização; (3) analisar as discussões dos estudos/artigos; e (4) identificar e extrair os fatores.

Os fatores foram investigados sob a lente teórica de Ecossistemas de Software (ECOS), um tipo de sistema complexo (JANSEN et al., 2013). A visão de ECOS abrange questões além das preocupações tecnológicas ajudando também na categorização desses fatores identificados. A literatura de ECOS discute fatores técnicos, humanos e organizacionais e, portanto, essas foram as categorias definidas para a discussão dos fatores de influência (SANTOS et al., 2016).

Para que os fatores fossem identificados, a análise das discussões dos estudos foi realizada por meio da leitura minuciosa das seções de análise e discussão. Nesse tipo de seção, os autores dos estudos tendem a expor mais detalhes sobre a aplicação das soluções relatadas nas pesquisas. Para facilitar a identificação dos fatores, uma codificação aberta (CORBIN e STRAUSS, 2014) foi realizada durante a leitura do texto no intuito de, para cada citação relevante, uma expressão, frase ou palavra ser atribuída uma espécie de código. Houve um cuidado em identificar os fatores que contribuíram positivamente para a aplicação das soluções propostas. Assim, esses fatores estão relacionados às demandas tecnológicas (técnicas), organizacionais e humanas envolvidas na interoperabilidade entre SI. Essas três demandas foram exemplificadas na Seção 1.3.

Como **fatores técnicos**, foram identificados: arquitetura de sistemas e infraestrutura de sistemas (FERNANDES et al., 2018). Como **fatores humanos**, foram identificados: comportamento humano, colaboração e relacionamento entre atores (FERNANDES et al., 2018). Como **fatores organizacionais**, foram identificados: modelos de processos, fases e fluxos de trabalho das operações, processos de negócios (incluindo atividades, tarefas e pessoas responsáveis pelas tarefas), informações sobre os processos, barreiras conceituais, linguagem e informações comuns, comportamento organizacional, permissões compartilhadas, natureza administrativa e ciclo de vida da informação

(FERNANDES et al., 2018). A Figura 7 exibe os fatores organizados por categoria e o rastreamento dos estudos por meio dos quais os fatores foram extraídos.

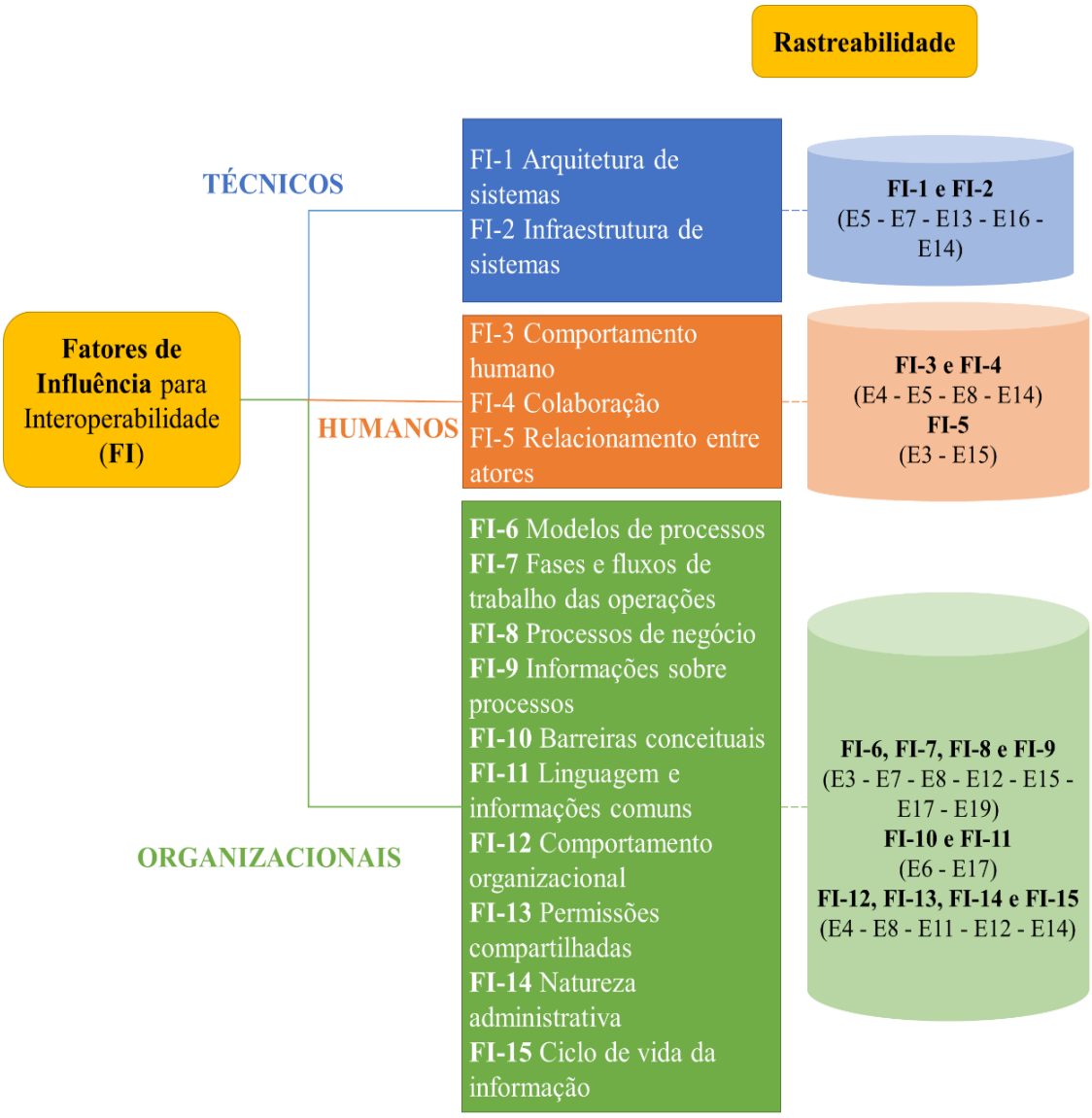


Figura 7. Primeiros fatores de influência identificados (FERNANDES et al., 2018).

Algumas limitações e ameaças à validade foram detectadas nesse mapeamento. Pelo fato da *string* de busca ter sido executada no período de maio a junho de 2018, os valores do resultado da execução dessa *string* nas bases podem ser divergentes no momento da defesa da dissertação (fevereiro de 2020). Isso se deve ao fato de que, no decorar do ano, as bases podem ter indexado novos estudos no período posterior.

Algumas teses e dissertações são potenciais fontes de pesquisa em SoS e SoIS, porque ambos os temas são emergentes para as áreas de SI e Engenharia de Software e materiais de base podem não ter sido recuperados. Um dos motivos é o fato desses trabalhos não terem sido publicados e/ou indexados nas bases digitais selecionadas.

Por fim, a execução da busca coincidiu com as datas de submissões de eventos nacionais e internacionais, deixando de fora potenciais artigos relevantes para os resultados deste estudo. Esse estudo foi finalizado apontando algumas necessidades de pesquisa que são discutidas na Seção 3.1.2.

3.1.2. Necessidades de Pesquisa Identificadas

Lacunas de pesquisa foram identificadas neste mapeamento. O estudo identificou a necessidade de refinar os fatores técnicos, humanos e organizacionais que foram extraídos da literatura e categorizados (Figura 7). Isso é explicado pelo fato do estudo ter se concentrado em identificar que fatores influenciam a interoperabilidade e não em explicar como tais fatores influenciam a interoperabilidade.

Os resultados mostraram que há uma quantidade incipiente de pesquisas direcionadas para a interoperabilidade em SoIS, o que motivou a continuação dessa pesquisa de dissertação. Embora a literatura especializada classifique SoIS como uma subclasse de SoS, percebeu-se uma lacuna na formalização conceitual do domínio de SoIS. Sem uma formalização, o entendimento de elementos de SoIS e como eles se relacionam é prejudicado. Isso evidenciou um ponto crítico a ser investigado. O ponto crítico pode ser explicado por meio da conjectura de que *o conceito bem definido é o ponto de partida para que as atividades na prática sejam mais bem direcionadas.*

As necessidades de pesquisa identificadas no mapeamento sistemático mostraram que as evidências obtidas não eram suficientes. Nesse sentido, conduziu-se um estudo longitudinal para discutir como os fatores pode influenciar a interoperabilidade no domínio de SoIS. As próximas seções detalham o protocolo e os resultados do estudo longitudinal, que consiste na extensão e refinamento do mapeamento apresentado.

3.2. Protocolo e Execução do Estudo Longitudinal

Para a condução do estudo longitudinal, uma nova *string* de busca foi formada, contemplando outros tipos de sistemas complexos não abordados no mapeamento, tais como sistemas heterogêneos, sistemas de grande escala e sistemas adaptativos. Embora o mapeamento tenha recuperado arranjos como sistemas federados, esse tipo de sistema não foi acrescentado na nova *string* pelo fato desse arranjo não priorizar a preservação da autonomia dos constituintes (BUSSE et al., 1999). A justificativa para inclusão de outros tipos de sistemas complexos se deve- ao fato de arranjos como SoIS serem discutidos na literatura com outros termos.

Três passos foram seguidos para realizar o estudo longitudinal: (1) planejamento, (2) condução e (3) análise dos resultados. O protocolo utilizado foi semelhante ao mapeamento e se baseou nas diretrizes de KITCHENHAM e CHARTERS (2007). As questões de pesquisa respondidas no mapeamento foram revistas no intuito de ajudar a definir as novas questões. Logo, no estudo longitudinal, buscou-se obter informações relativas a como os fatores identificados (Figura 7) podem influenciar a interoperabilidade e não apenas revisitar e fornecer uma visão geral do estado da arte.

Portanto, a principal questão de pesquisa que expressa o objetivo do estudo longitudinal foi formulada com base em PICOC (KITCHENHAM e CHARTERS, 2007). Diferente do estudo anterior, apenas população e resultados (PO) foram utilizados para evitar que, ao especificar alguma intervenção (e.g., tipos de solução), os resultados fossem retornados de maneira limitada (Tabela 2).

Tabela 2. Critérios de PO.

População	*Sistemas-de-sistemas de informação, sistemas-de-sistemas, sistemas heterogêneos, sistemas de larga escala, sistemas adaptativos*
Resultado	*Fatores de influência em interoperabilidade*

O objetivo deste estudo foi formalizado com base na estrutura GQM (BASILI, 1992): **analisar** interoperabilidade **com o propósito de** caracterizá-la **com respeito aos** fatores de influência **do ponto de vista dos** pesquisadores **no contexto de** sistemas complexos. A principal questão de pesquisa (**QP**) que orientou esse novo estudo foi: ***Que e como fatores influenciam a interoperabilidade no contexto de SoIS?*.** Para ajudar a responder à **QP**, subquestões (**Sub-Q**) também foram definidas (Tabela 3).

As ideias por trás da Sub-Q1 e Sub-Q2 discutidas no mapeamento anterior se mantiveram, mas adaptadas para sistemas complexos devido aos novos sinônimos de SoS/SoIS. Sub-Q1 se preocupa em investigar abordagens/soluções que possam fornecer informações sobre o estado da arte de interoperabilidade no contexto de sistemas complexos.

A razão da Sub-Q2 se refere ao fato de que identificar fatores pode oferecer uma visão holística da interoperabilidade em SoIS que sirva para melhor compreender a natureza deste contexto. A intenção deste estudo longitudinal também foi investigar se há fatores não recuperados no mapeamento anterior e teve como diferencial discutir Sub-Q3, Sub-Q4 e Sub-Q5, uma vez que essas questões não foram abordadas antes.

Tabela 3. Questões de pesquisa do estudo longitudinal

#	Questão
Sub-Q1	*O que tem sido feito para lidar com a interoperabilidade e que pode ser usado no domínio de SoIS?*
Sub-Q2	*Que fatores técnicos, humanos e organizacionais influenciam a interoperabilidade no domínio de SoIS?*
Sub-Q3	*Como os fatores técnicos influenciam a interoperabilidade e podem afetar o domínio de SoIS?*
Sub-Q4	*Como os fatores humanos influenciam a interoperabilidade e podem afetar o domínio de SoIS?*
Sub-Q5	*Como os fatores organizacionais influenciam a interoperabilidade e podem afetar o domínio de SoIS?*

Como estratégia de pesquisa, a elaboração de uma nova *string* de busca foi feita. A *string* foi executada na biblioteca *Scopus*, que indexa estudos de diferentes fontes digitais, como *Willey* e *Springer Link* e, portanto, essas bases não foram incluídas. Além disso, as bases *Science Direct*, *ISI Web of Science*, *IEEE*, *Engineering Village* e *ACM Digital Library* também foram selecionadas. A nova *string* de busca aplicada foi:

("interop") AND ("systems of system*" OR "systems-of-system*" OR "system of information system*" OR "system-of-information-system*" OR "systems-of information system*" OR "systems-of-information-system*" OR "heterogeneous system*" OR "large scale system*" OR "adaptive system*")*

Essa *string* foi adaptada para ser executada nas diferentes bases digitais. As adaptações para cada biblioteca são apresentadas no Apêndice III. Esse estudo longitudinal foi conduzido com o apoio da ferramenta *Parsifal*[13].

A seleção de estudos seguiu sete etapas (Figura 8). CI e CE foram definidos e aplicados aos estudos recuperados nas etapas de 3 a 5 do processo de seleção. Por sua vez, CQ foram definidos e aplicados aos estudos selecionados na etapa 6, que corresponde ao terceiro filtro (leitura completa).

Todos os critérios estão listados no Apêndice III. O formulário de extração dos dados dos estudos primários identificados foi baseado no modelo usado por PETERSEN et al. (2015) e é exibido na

Tabela 4.

[13] https://parsif.al/

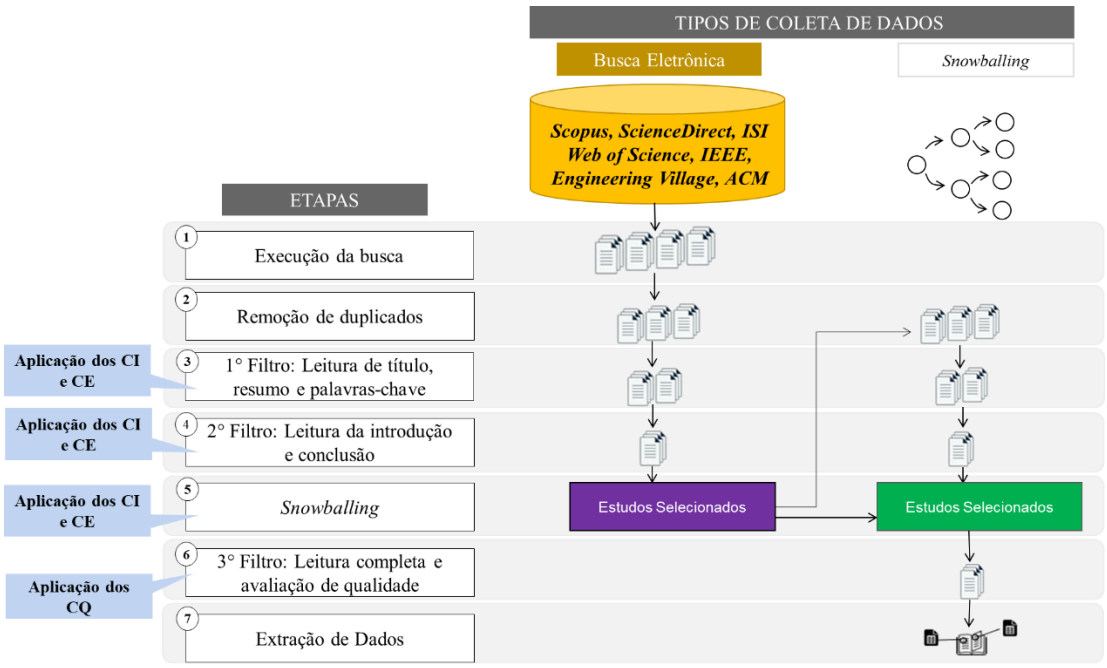


Figura 8. Etapas do processo de seleção e extração de dados do estudo longitudinal.

Tabela 4. Formulário de extração de dados baseado em PETERSEN et al. (2015).

Campo	Valor	Sub-QP
ID do estudo	Inteiro	
título	Nome do artigo	
fonte	Nome do local da publicação	
ano de publicação	Ano civil do calendário	
autores	Conjunto de nomes dos autores	
tipo de solução aplicada	Que soluções ou abordagens foram adotadas	#1
domínio comercial	Em que domínio de negócios as soluções foram aplicadas ou discutidas	
contexto da solução proposta	Conjunto de características para ajudar a entender o objetivo do trabalho e desenvolver as discussões	
fatores técnicos relatados	Que fatores técnicos são identificados	#2
fatores humanos relatados	Que fatores humanos são identificados	#2
fatores organizacionais relatados	Que fatores organizacionais são identificados	#2
influência dos fatores técnicos discutidos	Que considerações técnicas os autores relataram quando as soluções ou abordagens foram aplicadas	#3
influência dos fatores humanos discutidos	Que considerações humanas os autores relataram quando as soluções ou abordagens foram aplicadas	#4
influência dos fatores organizacionais discutidos	Que considerações organizacionais os autores relataram quando as soluções ou abordagens foram aplicadas	#5

Cada campo de extração de dados possui um item de dados e um valor para responder às subquestões de pesquisa. O número de estudos incluídos e excluídos em cada etapa é exibido na Figura 9.

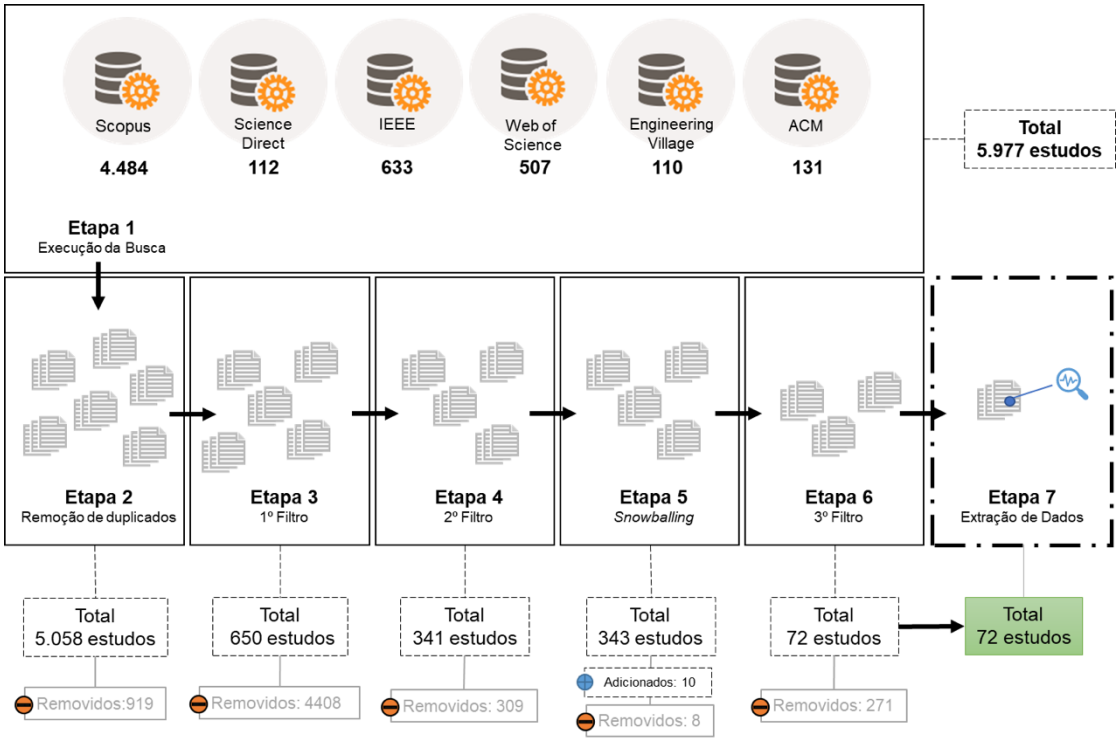


Figura 9. Visão geral dos resultados do estudo longitudinal.

3.3. Resultados do Estudo Longitudinal

De um total de 5.977 estudos recuperados, foram extraídos dados de 72 estudos primários selecionados. O estudo longitudinal envolveu publicações de 1990 a 2019 sobre interoperabilidade que, de alguma forma, lidam com estruturas de sistemas complexos. Para a organização e discussão, os estudos selecionados foram ordenados por ano de publicação e estão listados no Apêndice III. Por meio dos resultados obtidos, a nova **QP** e as **Sub-Q** desse estudo foram respondidas. As respostas foram extraídas dos estudos/artigos selecionados e o rastreamento delas é apresentado por meio da identificação da publicação que é representada pelo código **P+*número_da_publicação***.

A **Sub-Q1** investiga ***o que tem sido feito para lidar com a interoperabilidade e que pode ser aplicado no domínio de SoIS***. Essa questão é motivada pela necessidade de identificar artefatos de Tecnologia da Informação (TI), ou seja, construtos (vocabulário e símbolos), modelos (abstrações e representações), métodos (algoritmos e práticas) e instanciações (sistemas implementados e protótipos) que são comumente usados para lidar com interoperabilidade (HEVNER et al., 2008).

Os resultados obtidos mostraram que a interoperabilidade em SoIS pode ser provida por meio de soluções mais técnicas, como **plataforma baseada em agente** (P3), **protótipo** (P22) e **sistema mediador** (P5). Essas soluções permitem a operacionalização das trocas de dados entre sistemas de forma automatizada. Outros meios identificados são

os **modelos** (P3, P44, P61, P64, P65, P65), que podem ser arquiteturais (P6, P72) como, por exemplo, arquiteturas orientada a serviços (SOA) (P30, P32, P41), meta-modelo (P29, P44), modelo conceitual (P11), modelo de maturidade (P21) e modelo de referência (P27).

Ainda seguindo na linha de modelos, um estudo também apontou como solução uma linguagem de modelagem (P28) específica para lidar com interoperabilidade. Nesse caso, a linguagem de modelagem é apresentada para descrever arquiteturas sob um formalismo capaz de inferir o grau de interoperabilidade dos modelos de arquitetura envolvidos nos arranjos de sistemas. ***Framework*** (P2, P4, P9, P12, P15, P16, P17, P18, P19, P25, P39, P40, P42, P45, P46, P47, P47, P49, P50, P53, P54, P55, P62) também foi amplamente citado como forma de lidar com interoperabilidade.

Abordagens conceituais (P7, P8, P10, P36, P37, P38, P60) também foram encontradas como meios de lidar com interoperabilidade. Essas soluções incluem um conjunto de formas vocabulares que servem de guia para concepção e operacionalização da interoperabilidade. Nessa linha, foram identificadas **diretrizes/recomendações** (P24, P52), **métodos** (P1, P31, P51, P63, P71), **metodologias** (P14, P26, P34), **ontologia** (P68), **conjunto de indicadores** (P20), **conjunto de estratégias** (P13, P35, P57, P69), **conjunto de técnicas** (P58) e ***thesaurus*/vocabulário** (P59, P66, P67). O Apêndice III detalha como cada solução foi extraída dos estudos selecionados.

A **Sub-Q2** investiga ***que fatores técnicos, humanos e organizacionais influenciam a interoperabilidade no contexto de SoIS***. Primeiramente, é importante ressaltar que os fatores técnicos são elementos associados a componentes de hardware e software, redes e equipamentos que facilitam a comunicação máquina-a-máquina.

Outro ponto importante a considerar é que a lente de ECOS auxiliou na identificação de fatores humanos que estão relacionados ao conceito de interoperabilidade humana (BROWN, 2010). Este conceito busca auxiliar a compreensão das relações que afetam a colaboração entre os operadores que interagem nos ambientes tecnológicos (BROWN, 2010; HANDLEY, 2014). Mesmo que a interoperabilidade plena no domínio de SoIS não contemple a direta intervenção humana nas interoperações (GRACIANO NETO et al., 2017c), conhecer fatores humanos pode auxiliar gestores de SoIS na gerência de equipes técnicas ou de relações com *stakeholders*. Por sua vez, fatores organizacionais se referem às conexões interorganizacionais, incluindo interoperação de processos de negócios para a formação de alianças e fornecimento novos serviços (SANTOS et al., 2016).

O estudo longitudinal permitiu identificar 10 fatores técnicos, humanos e organizacionais. Dentre eles, alguns corroboram com os fatores identificados no mapeamento anterior, porém novos fatores foram extraídos e discutidos. Desta forma, os fatores encontrados no mapeamento puderam ser refinados e organizados nas categorias que melhor os representassem. A Figura 10 exibe os fatores de influência organizados por categoria, bem como o rastreamento dos estudos por meio dos quais os fatores foram extraídos. As seções a seguir apresentam os resultados de cada tipo de fator e como eles podem afetar a interoperabilidade em SoIS.

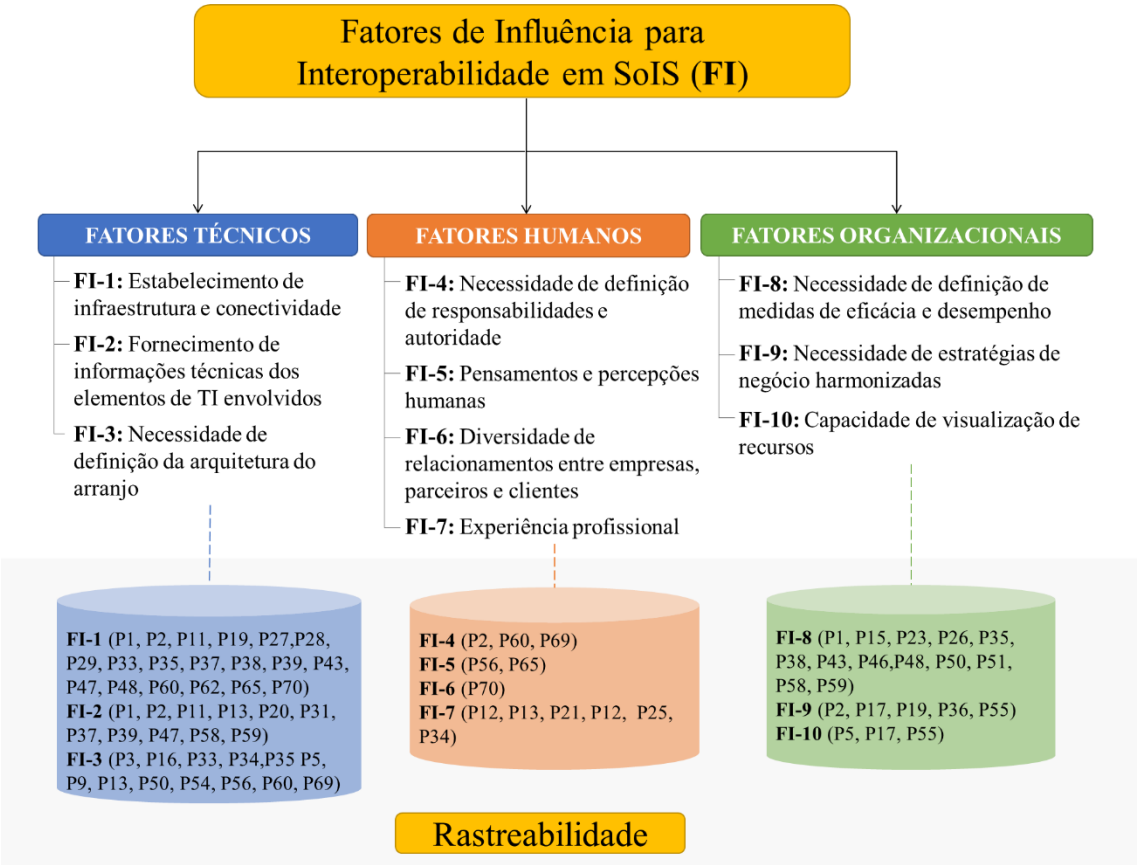


Figura 10. Conjunto de fatores de influência para interoperabilidade em SoIS.

3.3.1. Fatores Técnicos

O **estabelecimento de infraestrutura e conectividade (FI-1)** foi o primeiro fator identificado (P1, P2, P11, P19, P27, P27, P28, P29, P33, P35, P37, P37, P38, P39, P43, P47, P48, P60, P62, P65, P70). Esse fator inclui aspectos estruturais (P28), como infraestrutura como plataforma (P35, P47). Uma infraestrutura para interoperabilidade geralmente é composta por conectividade física, como cabos, conectores de rede e protocolos para *links* de comunicação (P48, P62). Autores de estudos como P5, P28 e P39

indicam o uso de protocolos, como SOAP[14] ou REST[15]. Ainda em relação a esse fator, o tipo de interface que será utilizada é um aspecto relevante para a conectividade do arranjo (P4, P7, P15, P29, P32, P38, P41, P43, P47, P72). Nesse caso, camadas de interface do usuário e serviços da web foram identificados como maneiras de facilitar as interoperações (P15, P32).

Além disso, algum tipo de definição de ambientes operacionais comuns foi discutido em P20, P39, P61 e P65 como aspecto de influência para a interoperabilidade. Isso ocorre porque pode facilitar a troca de dados automatizada entre plataformas heterogêneas em termos de sistemas operacionais ou sistemas de hardware e linguagens de programação (P39, P60, P68). Esse fator é importante para que algum nível de compatibilidade tecnológica consiga ser estabelecido quando se deseja um nível de interoperabilidade técnica mais automatizada.

O **fornecimento de informações técnicas dos elementos de TI envolvidos (FI-2)** foi identificado com um fator de influência (P1, P2, P11, P13, P20, P31, P37, P39, P39, P47, P58, P59). Esse fator inclui informações de metadados (e.g., formatos estruturais, sintáticos e semânticas de dados) que facilitam a integração de informações em torno da heterogeneidade de modelos de dados (P31, P37, P39, P47), meta-modelo (P31) e *frameworks* (P58). No entanto, para que esse fornecimento de informações seja realizado com melhor precisão, alguns estudos/artigos defendem a necessidade de existência de funções e procedimentos técnicos pelos quais os profissionais responsáveis possam se beneficiar (P4, P11, P20, P23, P29, P47, P48, P53, P56).

Esse fator está relacionado a procedimentos de troca e padronização de mídias (P20) no momento de trocas e análise de compatibilidade funcional e/ou de requisitos (P20, P71). Nesse caso, a necessidade de articulação entre SI descrita em P26 entra como um aspecto que auxilia diretamente a necessidade de reconfiguração de componentes para que haja adaptabilidade (P27) e conformidade (P48) entre os sistemas de um arranjo.

Outro fator identificado que influencia a interoperabilidade em SoIS está relacionado à **necessidade de definição da arquitetura do arranjo (FI-3)** (P3, P16, P33, P34, P35 P5, P9, P13, P50, P54, P56, P60, P69). Nesse sentido, tipos de arquitetura orientada a modelo (MDA, do inglês *model-driven architecture*) ou arquitetura de alto nível (HLA, do inglês *high-level architecture*) foram citados nos estudos P50 e P61.

[14] SOAP *(Simple Object Access Protocol*) é um protocolo de rede para troca de dados estruturados entre nós.
[15] REST (Representational State Transfer) define características para a construção de aplicações *web*.

Por fim, uma lista de fatores técnicos negativos foi identificada em algumas publicações. Em P36, os autores destacam como pontos críticos: (i) falta de redundância em arranjos de sistemas; (ii) resistência limitada de equipamentos durante emergências que dificultam a operacionalização do arranjo; e (iii) falta de um planejamento coordenado ou planos de contingência para lidar com situações de desastres que podem requerer a plena operação de um arranjo interoperável de sistemas.

3.3.2. Fatores Humanos

Um dos fatores humanos identificados se refere à **necessidade de definição de responsabilidades e autoridade (FI-4)** (P2, P60, P69) especialmente para gerenciar a operação dos arranjos de sistemas que se formam para atingir um objetivo maior. Essa definição está relacionada aos papéis e/ou funções que membros de uma equipe técnica podem desempenhar para interoperar sistemas. Alguém responsável pela especificação de tarefas e/ou doutrinas para o cumprimento de alguma missão, meta ou objetivo (P5, P14, P16, P60, P69) é um exemplo de definição de responsabilidade. Observou-se que há estudos que vislumbram a importância de se estabelecer papéis para os *stakeholders* envolvidos na formação de arranjos de sistemas que precisam interoperar (P3, P4, P7, P47, P49*)*. Alguns papéis foram identificados em publicações sobre SoS e podem contribuir para as discussões do domínio de SoIS. São eles: proprietários de SI constituinte, beneficiários, operadores e usuários do SoS (P3, P4, P7); gerenciador ou administrador de SoS (P3); e desenvolvedor de SoS (P7).

O fator relacionado a **pensamentos e percepções humanas (FI-5)** foi identificado em P65. Percebeu-se que os aspectos relacionados ao fator FI-5 são comumente discutidos nas teorias da comunicação humana (LITTLEJOHN e FOSS, 2010). Esse fator está relacionado às expectativas e sensações que os *stakeholders* possuem ao disponibilizar SI para colaborar em um arranjo (P56), especialmente se o arranjo for interorganizacional.

A **diversidade de relacionamentos entre empresas, parceiros e clientes (FI-6)** é um fator de influência existente no contexto de interoperabilidade (P70). Essa diversidade está relacionada a como pessoas, processos, tecnologias e demandas operacionais são orquestradas (P58) em um contexto de interoperabilidade. Aspectos relacionados à comunicação humana e à maneira como as colaborações entre membros de equipes técnicas, empresas, parceiros e clientes ou usuários são materializadas costumam estar nas preocupações de domínios de negócios diversos (P4, P5, P10, P11, P13, P16, P21, P22, P34, P35, P36, P37, P43, P48, P54, P67 P45, P46, P47, P61).

Aspectos de comunicação humana envolve a comunicação entre indivíduos e grupos (P34), como interações de pessoas nas fronteiras interorganizacionais (P37, P38, P43, P48, P54). Por sua vez, aspectos de colaboração entre *stakeholders* (P35) expõem diversidades de relacionamentos que podem ser oriundas de um comportamento social que influencia como as articulações entre SI serão feitas (P13, P23 e P55). Aspectos da cultura, como diferenças de linguagem (P13, P19, P23, P25) entre equipes técnicas ou gerenciais podem dificultar ou facilitar aspectos de comunicação humana e colaboração.

Outro fator de influência para interoperabilidade em SoIS está relacionado à **experiência profissional (FI-7)** (P12, P13, P29). Esse fator se relaciona à competência das pessoas que trabalham com interoperabilidade (P21, P34). No geral, gerentes esperam que os profissionais apresentem a capacidade de utilizar as informações trocadas, ou seja, operá-las, interpretá-las, transformá-las e extrair requisitos de *stakeholders* (P20, P28). A experiência desejável envolve habilidade de interpretação de dados para o entendimento semântico (P34, P57, P62), bem como para a extração e formalização do conhecimento do domínio expresso por especialistas (P67).

3.3.3. Fatores Organizacionais

Um dos fatores organizacionais identificados está relacionado à **necessidade de definição de medidas de eficácia e desempenho (FI-8)** (P1, P9, P20, P55, P60). As medidas podem ser formadas por métricas ou indicadores, mas não se limitam a isso. Estudos indicam que as medidas de desempenho podem incluir a duração/tempo da interoperação (P13, P20, P40, P60), custo da interoperação (P13, P60), integridade (P20), qualidade da interoperação (P20), latência dos dados (P40) e atendimento de requisitos de TI (P55).

A **necessidade de estratégias de negócio harmonizadas (FI-9)** é um fator que influencia decisões sobre interoperabilidade caso seja considerado na concepção de arranjos de sistemas (P2, P17, P19, P36, P55). Questões que envolvem diferenças em políticas e práticas organizacionais acarretam desafios na orquestração de parcerias de negócios (P25, P33). Políticas e práticas dependem de culturas organizacionais (P17, P35, P47, P51, P54, P55, P58, P61, P67) que são influenciadas pela diversidade de nacionalidades, idiomas e linguística. Esses aspectos diversos também geram desafios na dimensão semântica (P17, P61).

Tendo em vista a diversidade técnica e humana envolvida (FI-2 e FI-6), para lidar com esse fator organizacional, a harmonização da rede de negócios visando a colaboração entre empresas deve ser buscada (P34, P44, P47, P61). Além disso, observou-se que esse

fator (FI-9) gera desafios relacionados ao direito de acesso às informações e ao direito de propriedade das informações (P47, P55). Logo, a definição e especificação das atividades colaborativas interorganizacionais se faz necessária (P47). Além disso, aspectos políticos estão diretamente relacionados à dimensão de interoperabilidade legal discutida na Seção 2.2. Tais aspectos influenciam a interoperabilidade por envolver economia, regulamentação e necessidade de buscar a conformidade com legislações (P2, P29, P36, P42, P46, P47, P55, P62).

Por sua vez, a **capacidade de visualização de recursos (FI-10)** é um fator de influência porque o time de gerência pode não ter controle de recursos técnicos ou humanos a serem alocados para realizar a interoperabilidade (P5, P17, P42, P55, P63). Isso acontece dada a autonomia gerencial e operacional dos SI constituintes de um SoIS. Nesse sentido, deve-se ter atenção para que a especificação e alocação de requisitos de interoperabilidade seja realizada adequadamente (P1, P8, P14, P17, P19, P24, P24, P34, P38, P40, P42, P62). Esse fator influencia a interoperabilidade em SoIS por incluir aspectos programáticos (P19), tais como: operações e procedimentos alinhados, atividades de análise e definição de missões, metas, objetivos (P2, P17, P19, P40, P63) e necessidades de negócios (P6, P8, P14, P15, P17, P19, P24, P34, P38, P42, P62).

No estudo longitudinal, fatores organizacionais que influenciam negativamente a interoperabilidade foram identificados em alguns estudos. Em P17, os autores citam que a falta de mediação resulta na dificuldade de resolução de problemas, gera graus de incerteza ou baixos níveis de confiança em torno das interoperações. Outro ponto negativo é a constante ocorrência de novas restrições de produtos e processos aos SI porque provocam a necessidade de interferência nos *links* de interoperabilidade (P25). Além disso, processos não transparentes entre organizações participantes de um arranjo acarretam incompatibilidades que vão de técnicas até interesses de negócios (P46, P65).

3.3.4. Como Fatores Afetam Interoperabilidade em SoIS

Tão importante quanto categorizar fatores é entender as implicações de cada um deles ao lidar com interoperabilidade. Por essa razão, **Sub-Q3** investiga ***como os fatores técnicos influenciam a interoperabilidade e podem afetar o contexto de SoIS***.

A interoperabilidade técnica dá suporte à interação eletrônica entre os sistemas constituintes, capitalizando a infraestrutura de *hardware*, *software* e *firmware* (P2, P4). Portanto, **FI-1** influencia a interoperabilidade por tratar a camada de interconectividade dos sistemas por meio das interfaces que possibilitam o uso de serviços (P6, P17, P19, P20, P21, P34, P35, P37, P37, P40, P44, P47, P61, P64, P66, P67).

Por sua vez, o fornecimento de informações técnicas dos elementos de TI (**FI-2**) envolvidos na interoperação influencia decisões sobre o *design* de *links* de interoperabilidade por contemplar informações como estruturas de dados, i.e., atributos e formatos (P1). Um arranjo de SI como SoIS estar sujeito a uma formação mutável implica que novos formatos de dados, semântica, procedimentos e tecnologias sejam continuamente adotados (P20, P23, P71). A existência de funções e procedimentos técnicos que dê suporte às demandas emergenciais de SoIS é um caminho.

Em P13, a definição de arquitetura é tida como um dos pilares que sustenta a conquista da interoperabilidade empresarial e sustentável. Nesse caso, a necessidade de definição da arquitetura do arranjo (**FI-3**) é um fator que influencia a interoperabilidade no contexto do SoIS dada a necessidade de um *design* de SI pouco acoplado (P35). Se por um lado o uso de ambientes/interfaces comuns favorece a estabilidade desejada no contexto da interoperabilidade (P20), em SoIS há que se ficar atento ao fato de que, dependendo da característica de pertencimento dos SI ao SoIS, o uso de ambientes comuns pode não ser prejudicado.

No geral, a interoperabilidade pode ser vista ou simplificada por alguns pesquisadores ou profissionais como uma questão de integração. No caso de integração de sistemas, os fatores técnicos podem ser suficientes para nortear a equipe técnica responsável por operacionalizar a conectividade entre sistemas intensivos em software. No entanto, esse estudo mostrou por meio da Sub-Q4 que fatores técnicos são apenas uma das preocupações a serem consideradas. Nesse sentido, **Sub-Q4** investiga ***como os fatores humanos influenciam a interoperabilidade e podem afetar o contexto de SoIS***.

O nível humano é discutido na literatura sobre interoperabilidade de SI (ISI) por SOARES e AMARAL (2014). Em ISI, a perspectiva humana deve ser considerada ao projetar, implementar e gerenciar a interoperabilidade entre SI (SOARES e AMARAL, 2014). Os autores entendem que a ISI não é um fenômeno exclusivamente tecnológico, mas também um fenômeno que exige negociação, diplomacia e comunicação. Como SoIS lida com um arranjo de SI constituintes que devem interoperar, fatores humanos influenciam muito esse domínio.

A necessidade de definição de responsabilidades e autoridade (**FI-4**) influencia a interoperabilidade em SoIS à medida que as relações entre *stakeholders* detentores dos SI que estão interoperando (ou que irão interoperar) são provenientes de contextos e culturas organizacionais diversificadas. A definição de responsabilidades e/ou papéis em um SoIS tanto é válido para o time de gestão (autoridade que vai se beneficiar da formação do arranjo) como para a equipe técnica alocada para operacionalizar o SoIS formado. A

definição de uma autoridade também influencia diretamente o tipo de SoIS que será formado (Direcionado e/ou Reconhecido). Nesse sentido, a depender do poder exercido pela autoridade, um SoIS estará mais ou menos sujeito a comportamentos emergentes não desejados.

Por outro lado, o pensamento e as percepções humanas (**FI-5**) influenciam a interoperabilidade porque, em geral, ela é planejada em cenários de negócios com base nas expectativas dos *stakeholders* de um SoIS e de cada detentor do SI constituinte. O objetivo principal de um SoIS é movido pela percepção de uma pessoa ou time de gestão acerca das capacidades que um conjunto de SI constituintes existentes possam oferecer ao arranjo.

A natureza de SoIS contempla aspectos interorganizacionais formados pelo fator diversidade de relacionamentos entre empresas, parceiros e clientes (**FI-6**) (P70). Esse fator influencia a interoperabilidade à medida que os aspectos de comunicação e colaboração humanas são coordenados. Essa coordenação deve favorecer o processo de conhecimento e compreensão relacionado aos dados e/ou informações a serem trocados. Esse conhecimento na interoperabilidade de SI é obtido com base nos significados fornecidos por um ser humano (P10).

Por fim, a experiência profissional (**FI-7**) influencia a interoperabilidade em SoIS à medida que a qualidade dos serviços prestados pelo arranjo dependa do perfil profissional da equipe de gestão (ou técnica) desenvolvido ao longo da carreira. Um exemplo dessa influência são as inconsistências que devem ser percebidas e corrigidas pelos profissionais ao verificar, reavaliar e/ou projetar novamente os *links* de interoperabilidade (P67). Além disso, como o entendimento semântico é importante para o contexto de interoperabilidade, esse fator pode influenciar regras que governam a definição de conceitos e os relacionamentos entre múltiplos SI (P62).

Por fim, a **Sub-Q5** investiga ***como os fatores organizacionais influenciam a interoperabilidade e podem afetar o contexto de SoIS***. Nesse caso, a necessidade de definição de medidas de eficácia e desempenho (**FI-8**) influencia a interoperabilidade uma vez que definir essas medidas apoia a análise sobre a viabilidade de *links* de interoperabilidade em um arranjo. A definição de medidas de eficácia é importante para determinar se a interoperabilidade é suficiente para apoiar missões ou objetivos no contexto do SoS/SoIS (P1). Por sua vez, medidas de desempenho são comumente usadas em culturas corporativas como estratégia de negócios para melhorar os resultados. Dessa forma, definir medidas de desempenho influencia a interoperabilidade porque esse tipo de informação pode ajudar a medir a capacidade de manter um arranjo adaptável às

mutações pelas quais um ambiente como SoS/SoIS está sujeito (P20). Essas mutações estão relacionadas a entradas e saídas de SI constituintes de um SoIS.

O fator relacionado à necessidade de estratégias de negócio harmonizadas (**FI-9**) tanto pode influenciar a conectividade *business-to-business* (FI-1) como pode auxiliar na obtenção de melhores desempenhos do arranjo (FI-3) (P67). SoIS pode apresentar relacionamentos interorganizacionais complexos devido à diversidade de culturas organizacionais a qual está sujeito. Logo, estratégias harmonizadas podem influenciar o interesse de uma organização em manter ou não o seu SI em um arranjo formado.

Outro fator é a capacidade de exibição de recursos (**FI-10**) que influencia a interoperabilidade em SoIS à medida que um gerente ou time de gestão nesse domínio pode não ter acesso total aos recursos de todos os SI envolvidos. Conforme discutido na Seção 2.3, o domínio de SoIS apresenta natureza interorganizacional. Dessa forma, a especificação e alocação de requisitos de interoperabilidade (P55, P63) demanda da gestão do SoIS habilidade em coletar informações com entendimento semântico (P42, P55, P65). Por meio desse entendimento, um ou mais modelos de negócios são produzidos (P33) e o alinhamento estratégico pode ser alcançado (P35). A interoperabilidade em SoIS é analisada e discutida na próxima seção.

3.4. Análise e Discussão

A área de pesquisa em interoperabilidade é popular na literatura, sobretudo pelo número de publicações recuperadas nas primeiras etapas deste estudo (5.977 publicações, ver Figura 9). No entanto, as publicações relacionadas especificamente a interoperabilidade em SoIS são incipientes, ratificando o resultado do mapeamento conduzido e do mapeamento de TEIXEIRA et al. (2019) sobre o *status quo* de SoIS.

O que tem sido feito para lidar com a interoperabilidade e pode ser aplicado ao domínio de SoIS envolve algumas linhas a serem seguidas para prover níveis de interoperabilidade. Tais linhas podem são caminhos para a produção de conhecimento que pode ser do tipo: (i) **conceitual**; (ii) **descritiva**; e (iii) **produção de software**. A produção de conhecimento por meio de alguma abordagem ou paradigma pode nutrir a concepção de artefatos de linha **conceitual**, como modelos arquiteturais, meta-modelo, modelo conceitual, de referência ou de processo de negócio. A linha **descritiva** engloba artefatos do tipo *framework,* diretrizes, recomendações, métodos, conjunto de indicadores ou técnicas e metodologias. Além disso, a linha descritiva é capaz de prover meios didáticos pelos quais a **produção de software** pode ser conduzida e operacionalizada. A

Figura 11 representa as linhas que são caminhos para lidar com a interoperabilidade em SoIS.

No topo, a linha conceitual representa a ideia ou arquétipo do que se almeja construir tecnicamente. Na base direita, a linha descritiva representa elementos conceituais que podem ser prototipados por meio de soluções intensivas em software. Por fim, na base esquerda, a linha de produção de software, que representa o produto final desenvolvido para atender às demandas de negócio do mundo real. Porém, esse subconjunto representa um recorte dos caminhos que podem ser aplicados ao domínio de SoIS dada a natureza mutável (dinâmica) dos arranjos. Um exemplo disso é que soluções fortemente acopladas foram excluídas da representação.

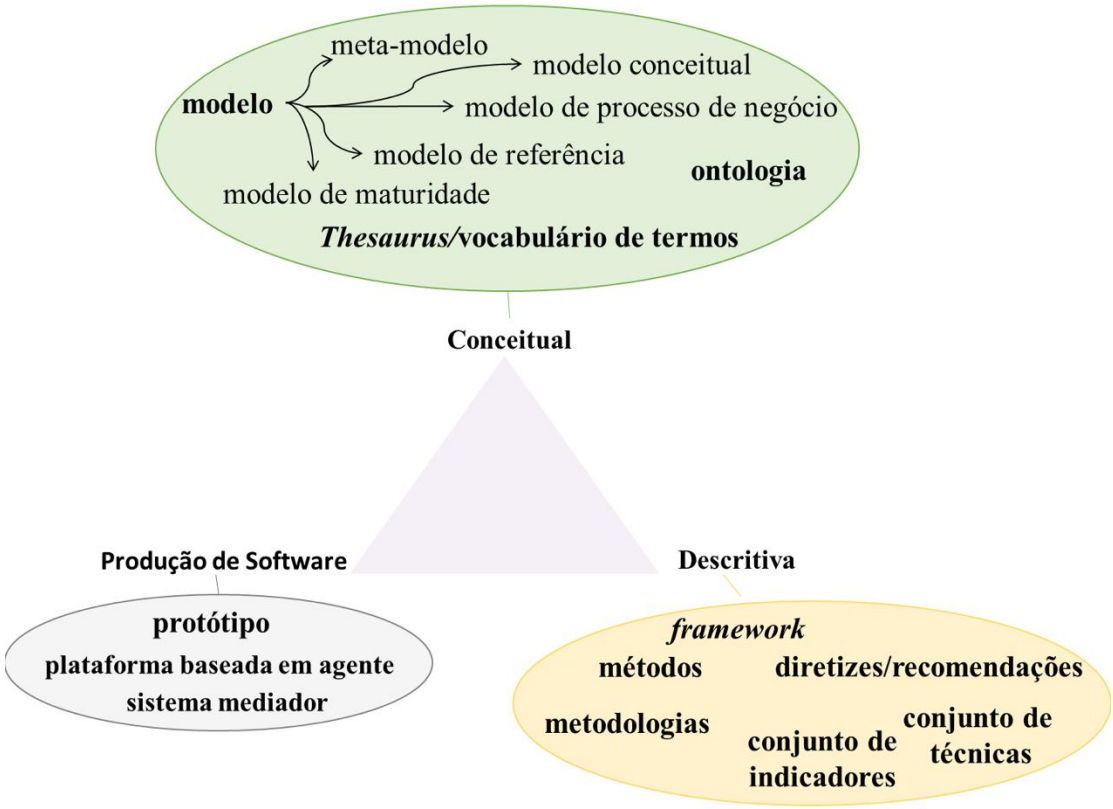


Figura 11. Linhas para prover níveis de interoperabilidade em SoIS.

Conforme discutido na Seção 2.2, uma das dimensões de interoperabilidade comumente presentes nos estudos é a organizacional, que envolve a razão pela qual *stakeholders* decidem interoperar. Porém, como SoIS lida com características como a autonomia dos SI constituintes, pode-se considerar a dimensão de interoperabilidade organizacional como sendo interorganizacional ou intraorganizacional (Figura 12). Essas descrições expressam melhor a intenção desse arranjo porque "organização" remete à ideia de uma entidade majoritária detentora de SI. Nesse cenário, a entidade majoritária

propõe a interoperabilidade dos SI estando os sistemas sujeitos à perda da autonomia para servir unicamente ao objetivo global da organização.

No entanto, a ideia da aliança em torno de um SoIS também pode envolver constituintes da mesma organização, mas de unidades organizacionais diferentes. Nesse caso, pode-se entender como intraorganizacional a dimensão que se refere a essa conjuntura. SoIS parte da premissa de que SI operam para seus propósitos individuais enquanto disponibilizam uma ou mais capacidades em um SoIS. Sendo assim, os SI não abdicam de seus objetivos individuais para atender ao objetivo principal de um SoIS. Além disso, um gerente de SoIS pode não pertencer a nenhuma das organizações responsáveis pelos constituintes e sim a um *stakeholder* ou entidade externa interessada no comportamento emergente de um SoIS.

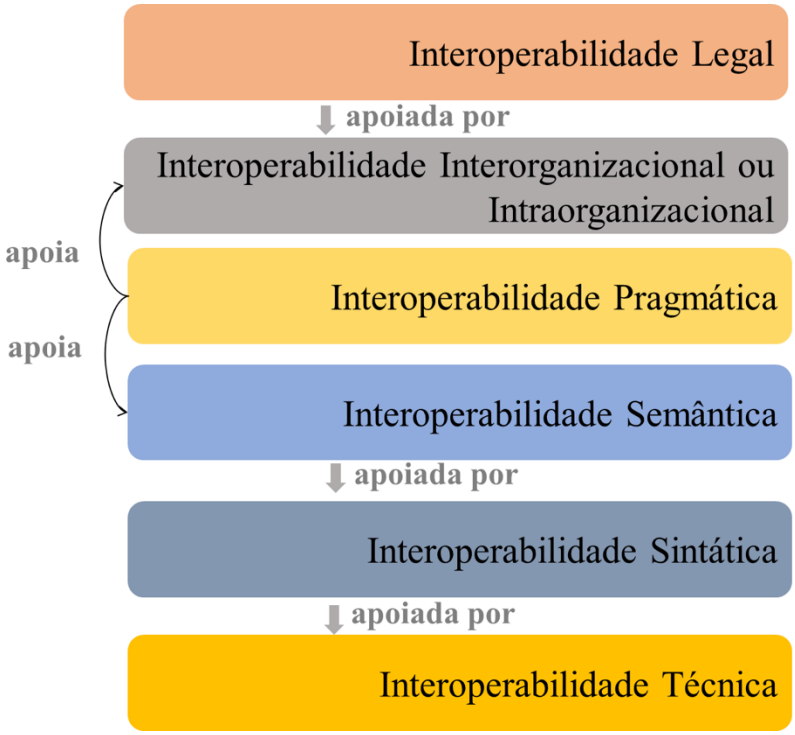


Figura 12. Dimensões de interoperabilidade consideradas para o domínio de SoIS.

Considerando esse contexto, para lidar com as particularidades da formação de *links* de interoperabilidade em SoIS devido a características como dinamicidade, deve-se levar em conta o entendimento da interferência de fatores técnicos, humanos e organizacionais. Nesse sentido, a discussão dos fatores de influência para interoperabilidade em SoIS é apresentada e discutida na próxima seção.

3.4.1. Fatores de Influência para Interoperabilidade e o Papel do Gerente de SoIS

A influência que elementos técnicos, humanos e organizacionais podem ter sobre a interoperabilidade de sistemas complexos como SoIS é importante na obtenção de bons

resultados relacionados ao cumprimento dos objetivos que levam à formação do arranjo. Isso ocorre porque um gerente de SoIS é responsável por orientar o trabalho das equipes para atingir os objetivos definidos, identificando que pontos podem ser aprimorados para aumentar o desempenho do arranjo formado, influenciando ou atraindo organizações para formar uma aliança. Um gerente de SoIS é um ator que fornece as ferramentas necessárias para que a equipe possa orquestrar com êxito o objetivo principal de um SoIS, tais como:

1. *Planejamento claro e preciso dos objetivos de um SoIS*

Aumentar as chances de gerar os resultados esperados requer funções e procedimentos técnicos claros que convergem para o cumprimento dos propósitos de um SoIS, ou seja, objetivo principal e objetivos secundários. Nesse caso, coletar informações de elementos de TI (FI-2) ajuda essa necessidade.

2. *Planejamento de estratégia de negócios*

A importância de fatores humanos e organizacionais para a gerência de SoIS é importante porque envolve elementos capazes de orientar estratégias de negócios para o estabelecimento de alianças, mesmo que temporárias. SoIS lida com alianças interorganizacionais cuja diversidade de culturas pode estar presente. Portanto, a busca por estratégias de negócio harmonizadas (FI-9) é essencial para a formação de alianças interorganizacionais. Essa harmonização é um fator que converge para a necessidade de especificação e alocação de requisitos de interoperabilidade.

Por outro lado, a complexidade das relações inter ou intraorganizacionais pode estar ligada a fatores como aspectos políticos. Neste caso, o gerenciamento dessas relações é complexo por si só. Fatores tais como a capacidade de visão de recursos podem ser limitados em uma aliança interorganizacional (FI-10).

3. *Gerenciamento de link de interoperabilidade*

Para aumentar as chances de estabelecer conectividade entre SI constituintes em SoIS, é necessária uma articulação em torno desses SI. Essa conectividade depende do uso de tipos de interface apropriados para garantir a autonomia do SI constituinte (FI-2). Entretanto, vale ressaltar que a definição da arquitetura do arranjo em SoIS deve prezar pela natureza dinâmica (mutável). Portanto, esse fator exige que o fornecimento de informações técnicas dos elementos de TI envolvidos e as funções e procedimentos técnicos existentes para a operacionalização da interoperabilidade sejam revisados.

4. *Definição de medidas de desempenho e eficácia*

Em termos técnicos, a necessidade de definir medidas de eficácia e desempenho (FI-8) é um fator importante para ajudar a medir a capacidade de um acordo permanecer viável e/ou adaptável mesmo diante dos comportamentos emergentes os quais o SoIS está

sujeito. Em termos de negócio ou organizacionais, a definição de medidas de eficácia, por exemplo, pode influenciar *stakeholders* de SI constituintes nas decisões de interoperar ou deixar o arranjo de um SoIS.

Medidas de efetividade como custos, benefícios ou necessidades (SOBKOWSKI e FREEDMAN, 2013) podem ser usadas para demonstrar aos *stakeholders* os benefícios de um SI em colaborar no arranjo de SoIS. Embora SoIS seja um tema em amadurecimento para as áreas de SI e Engenharia de Software, durante a condução deste estudo, conceitos transversais a SoIS foram identificados. Esses conceitos são apresentados na próxima seção.

3.4.2. Conceitos Transversais a SoIS

Durante a condução deste estudo longitudinal, alguns conceitos similares a SoIS foram identificados, tais como *System of Arrays of Systems* (SITTON e REICH, 2015), *Collaborative Network of Organizations* (BILLAUD et al., 2015) e *Interorganizational Information Systems* (DIIRR e SANTOS, 2019). Diferenças entre as características de um SoS e um *System of Arrays of Systems* estão relacionadas a alguns fatores-chave como processos e projetos (SITTON e REICH, 2015). Segundo SITTON e REICH (2015), em relação aos projetos, o desenvolvimento de um SoS é tratado como um projeto por si só com objetivos claros e pontos de partida e de chegada bem definidos. Para os autores, *System of Arrays of Systems* não possui um ponto de início e fim muito claro. Nesse caso, *System of Arrays of Systems* trabalha com objetivos estratégicos que não se traduzem em objetivos táticos de cada sistema (SITTON e REICH, 2015).

O estudo realizado por BILLAUD et al. (2015) discute *Collaborative Network of Organizations* como uma estrutura composta por subsistemas. Considerando essa visão, a interoperabilidade pode ser fornecida por meio da integração simples de sistemas, uma vez que os subsistemas são partes ou elementos usados para compor um sistema maior. Porém, essa noção difere da interoperabilidade plena almejada em SoIS onde a interoperabilidade deve considerar a autonomia dos SI constituintes enquanto o objetivo principal do arranjo é atingido. Por sua vez, *Interorganizational Information Systems* se concentram em explorar o suporte das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) para lidar com relações interorganizacionais (DIIRR e SANTOS, 2019). Os relacionamentos investigados nesse domínio permitem que as organizações combinem recursos, conhecimento e poder em benefício de sua parceria (DIIRR e SANTOS, 2019).

Considerando as características apresentadas, a pesquisa em SoIS pode se beneficiar das estratégias de negócios fornecidas por esses domínios. Por exemplo, SoIS

pode se beneficiar do domínio de *System of Arrays of Systems* nas fases de: (i) estabelecimento dos objetivos principal e secundários; (ii) concepção de processos de negócio; e (iii) definição de requisitos de entrada e saída da aliança.

Por sua vez, *Interorganizational Information Systems* procura entender o gerenciamento e a colaboração entre diferentes organizações. Nesse caso, SoIS pode usufruir de estratégias providas por este domínio para lidar com a complexidade das relações interorganizacionais (FI-18). Embora alguns conceitos transversais tenham sido encontrados durante a condução deste estudo, pode-se perceber particularidades relacionadas à interoperabilidade em SoIS. A próxima seção resume as particularidades percebidas que servem como base para refletir como a interoperabilidade em SoIS deve ser abordada.

3.5. Estudos Secundários Relacionados à Interoperabilidade

Os trabalhos relacionados foram identificados por meio de um critério de exclusão definido para estudos secundários (Apêndice III). Dessa forma, foram identificados 15 estudos secundários entre mapeamentos e revisões sistemáticas (Apêndice III). Cada trabalho relacionado (TR) foi identificado por **TR-*número_do_estudo_secundário***. Para apoiar a análise dos estudos secundários, a ferramenta *EvidenceSET*[16] foi utilizada para gerar gráficos que auxiliam na visão geral do que foi abordado pelos estudos (BARBOSA et al., 2017).

Com isso, percebeu-se que, ao longo dos anos, houve vários estudos que abordaram aspectos específicos da interoperabilidade. Esses aspectos incluem: ferramentas, tecnologias, integração, desenvolvimento, modelos, avaliação, medição ou medição e métodos. Eles foram extraídos das palavras-chave dos estudos com o uso da *EvidenceSET*.

Em TR-1, os autores identificaram abordagens de avaliação de interoperabilidade e as compararam com base em suas propriedades (e.g., tipo de avaliação, mecanismo de medição usado e barreiras de interoperabilidade abordadas). Em TR-2, os autores identificam fatores (i.e., técnicos, humanos e organizacionais) que podem afetar a interoperabilidade dos sistemas em SoIS (FERNANDES et al., 2018). Por sua vez, TR-3 aborda o estado atual da interoperabilidade e as soluções de interoperabilidade no domínio da Internet das Coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*). Em TR-4, os autores discutem a evolução da interoperabilidade e a sua influência na construção de sistemas

[16] http://www.oalexandrino.com.br/sites/EvidenceSET/html/site

de software contemporâneos. TR-5 discute como a interoperabilidade foi tratada em sistemas de software sensíveis ao contexto (CASS, do inglês *Context-Aware Software Systems*). TR-6 identifica iniciativas, tendências e desafios no desenvolvimento de SoS.

TR-7 investiga o estado da arte da integração de SoS (SoSI, do inglês *System of Systems Integration*) e os métodos de engenharia de software que auxiliam na integração entre sistemas constituintes de um SoS. Em TR-8, os autores discutem modelos, metodologias ou técnicas para medir a interoperabilidade, ao passo que em TR-9, os autores exploram métricas de interoperabilidade e métodos usados para a sua avaliação. TR-10 descreve as estruturas de interoperabilidade existentes para *e-business* e TR-11 descreve modelos de avaliação de interoperabilidade existentes e os comparam. Por sua vez, TR-12 discute influências racionais, emocionais e sociais que afetam a implementação de ações de tomada de decisão e interoperabilidade de várias agências.

Em TR-13, os autores identificam áreas para o corpo de conhecimento sobre interoperabilidade sustentável, como configuração de rede corporativa e fundamentos para uma base científica de interoperabilidade empresarial. TR-14 discute interoperabilidade pragmática por meio de uma revisão sistemática das definições publicadas. Por fim, TR-15 fornece uma visão geral sobre como a interoperabilidade pode ser modelada, além de prever os recursos necessários para uma interoperação e técnicas para alcançar a interoperabilidade.

No geral, percebeu-se que os estudos investigam os meios para lidar com a interoperabilidade técnica, com exceção do estudo secundário de HOUSE et al. (TR-12) e MOTTA et al. (TR-4). O primeiro investigou influências emocionais e sociais, enquanto o segundo buscou o que influencia a construção de sistemas de software contemporâneos. Observou-se o estado da arte consolidado em relação à interoperabilidade, mas com poucos estudos conjecturando detalhes por trás das dificuldades em se alcançar a interoperabilidade plena. Portanto, esse estudo mostrou que abordar a interoperabilidade em sistemas complexos como SoIS deve tratar outros fatores para além de questões técnicas. Além disso, a quantidade de estudos secundários reportados abre caminhos para que estudos terciários sejam conduzidos na área de interoperabilidade.

3.6. Ameaças à Validade

Esse estudo tem algumas implicações. Os resultados podem ser afetados pelo viés na seleção dos estudos, imprecisão na extração e síntese de dados, além da grande

quantidade de publicações recuperadas. As limitações e ameaças à validade são discutidas nessa seção.

3.6.1. Viés na Seleção dos Estudos

Pode haver um viés da pesquisadora em relação à seleção dos estudos. Para reduzi-lo, um conjunto de critérios (CI e CE) foi elaborado para a seleção dos estudos (Apêndice III). Para atenuar o viés dos resultados da seleção de estudos, quando a pesquisadora se deparou com alguma incerteza ou divergência sobre esses critérios, foram realizadas etapas de entendimento com orientadores para garantir o consenso acerca dos critérios. Além disso, o protocolo do estudo foi discutido com os orientadores para garantir um entendimento comum sobre a seleção dos estudos.

3.6.2. Imprecisão na Extração e Síntese de Dados

Esse estudo obteve inúmeros resultados para cada questão de pesquisa. O montante pode ter afetado desfavoravelmente a seção de análise e discussão dos dados porque algumas informações tiveram que ser deixadas de fora por motivos de espaço.

Além disso, vários resultados têm como consequência um trabalho extenso e cansativo, o que pode levar à perda de dados. Procurou-se conduzir o estudo com o máximo de precisão possível no processo de extração e apresentação das informações necessárias para responder às questões de pesquisa definidas para este estudo.

3.6.3. Grande Quantidade de Publicações Recuperadas

O volume de resultados torna algumas etapas muitas vezes exaustiva, como a análise. Isso pode levar à exclusão de trabalhos potencialmente relevantes. No entanto, procurou-se conduzir o estudo com o máximo de atenção possível. Vários estudos não foram acessados por terem um custo monetário associado ao acesso. Este estudo cobriu somente os trabalhos disponíveis em bases cujas credenciais da instituição permitiram o acesso ou os trabalhos que estavam disponíveis gratuitamente. Para mitigar esta ameaça, buscou-se trabalhar a análise com mais profundidade.

3.7. Considerações Finais

Esse capítulo apresentou os resultados de dois mapeamentos sistemáticos realizados na segunda fase desta pesquisa. O primeiro representa a fase 2.1 desta pesquisa, ao passo que o estudo longitudinal corresponde à fase 2.2. Na Seção 3.3.1, foram discutidos 10 fatores técnicos, humanos e organizacionais (Figura 10) que podem influenciar a

interoperabilidade em SoIS. Com base na discussão qualitativa conduzida ao longo da análise dos resultados, um entendimento abrangente sobre a interoperabilidade no SoIS pode ser alcançado. As principais considerações extraídas são resumidas a seguir:

- A interoperabilidade em SoIS se caracteriza como uma sinergia entre os SI para atingir o objetivo principal de um SoIS, enquanto cada SI mantêm a sua operação para o cumprimento de seus próprios objetivos;
- Lidar com a interoperabilidade em SoIS leva a observar fatores técnicos, humanos e organizacionais dada a natureza de negócio dos SI envolvidos;
- Os fatores técnicos identificados são: estabelecimento de infraestrutura e conectividade (FI-1), fornecimento de informações técnicas dos elementos de TI envolvidos (FI-2) e necessidade de definição da arquitetura do arranjo (FI-3);
- Os fatores humanos identificados são: necessidade de definição de responsabilidades e autoridade (FI-4), pensamentos e percepções humanas (FI-5), diversidade de relacionamentos entre empresas, parceiros e clientes (FI-6) e experiência profissional (FI-7);
- Os fatores organizacionais identificados são: necessidade de definição de medidas de eficácia e desempenho (FI-8), necessidade de estratégias de negócio harmonizadas (FI-9) e capacidade de visualização de recursos (FI-10).

Entender os fatores técnicos, humanos e organizacionais que fazem parte do universo de interoperabilidade em SoIS pode auxiliar uma equipe de gestão a ter uma visão mais ampla sobre elementos críticos que devem ser considerados ao projetar e estabelecer *links* de interoperabilidade. Esses fatores podem ser aplicados em cenários reais para gerar recomendações durante processos de análise e *design* de *links* de interoperabilidade em SoIS.

Os resultados desse estudo mostraram que as evidências obtidas sobre os fatores foram suficientes para uma categorização mais voltada ao domínio de SoIS, considerando as características discutidas na Seção 2.1. Isso motivou uma consulta a especialistas da indústria sobre os frequentes desafios de interoperabilidade na prática e o que tem sido feito para mitigar os problemas enfrentados. Com essa pesquisa de opinião, os fatores identificados puderam ser analisados frente às práticas da indústria. O próximo capítulo apresenta a pesquisa de opinião conduzida.

Capítulo 4. Desafios de Interoperabilidade em Sistemas de Informação

Esse capítulo corresponde à fase 3 do trabalho e tem como objetivo apresentar a pesquisa de opinião conduzida com especialistas em interoperabilidade para conhecer os desafios de interoperabilidade na prática. O capítulo inicia com uma seção introdutória que apresenta a motivação para a realização da pesquisa de opinião e os trabalhos relacionados (Seção 4.1). A Seção 4.2 descreve o protocolo de pesquisa e os detalhes da sua execução. A Seção 4.3 apresenta o método de análise, seguido da apresentação dos resultados (Seção 4.4) e discussão (Seção 4.5). Por fim, são descritas as limitações do estudo (Seção 4.6) e feitas as considerações finais (Seção 4.7).

4.1. Introdução

A interoperabilidade em sistemas complexos geralmente se dá em torno de sistemas existentes e independentes. Nesse contexto, a interoperabilidade lida com questões que vão além dos desafios técnicos (BOSCARIOLI et al., 2017). A quantidade de publicações sobre o tema retornadas nos estudos do Capítulo 3 mostrou que, embora haja muita pesquisa relacionada, a interoperabilidade ainda é um desafio em SI. Isto deve ao fato da interoperabilidade envolver decisões que podem afetar diretamente resultados de negócio como custos, vantagem competitiva e recursos humanos.

Enquanto estudos discutem sobre fatores de influência na interoperabilidade de estruturas de sistemas complexos, outros estudos procuram fornecer estratégias para projetos de integração. VALLE et al. (2019), por exemplo, discutem estratégias arquiteturais em quatro grupos: técnicas, táticas arquiteturais, estilos e padrões para cada tipo de requisito de interoperabilidade. Os autores propõem uma tipologia de alto nível para orientar como os requisitos de interoperabilidade podem ser alcançados em projetos de integração. No entanto, eles não discutem a origem das potenciais causas que refletem os desafios inerentes a este contexto.

Assim, a motivação para conduzir esta pesquisa de opinião com especialistas da indústria se deu por dois motivos: (i) investigar os desafios de interoperabilidade que esses profissionais estão sujeitos a enfrentar na prática cotidiana e (ii) conhecer as ações que eles costumam executar para mitigar as dificuldades que acontecem ao estabelecer vínculos de interoperabilidade entre SI.

A pesquisa de opinião conduzida nessa fase da pesquisa procura identificar se os desafios de interoperabilidade são interdependentes ao relacioná-los com ações de mitigação sugeridas pelos participantes por meio das respostas coletadas. Uma abordagem descritiva foi usada para coletar e explorar aspectos relacionados aos desafios que a interoperabilidade em SI impõe aos profissionais. Além disso, a discussão sobre quais lições ainda não foram bem aprendidas ao longo dos anos foi realizada. A seguir, são apresentados os detalhes do planejamento, execução, análise e interpretação dos resultados da pesquisa.

4.2. Protocolo e Execução

O objetivo deste estudo foi realizar uma pesquisa *online* com especialistas para identificar os desafios atuais enfrentados ao lidar com a interoperabilidade entre SI, além de sugestões para a mitigação dessas dificuldades. A metodologia de pesquisa seguiu as recomendações de KITCHENHAM e PFLEEGER (2008) para pesquisas baseadas em opinião pessoal.

As atividades realizadas foram: (i) estabelecimento dos objetivos, (ii) *design* da pesquisa, (iii) desenvolvimento do instrumento de pesquisa (questionário), (iv) avaliação do instrumento de pesquisa, (v) obtenção de dados e, por fim, (vi) a análise dos dados. O objetivo dessa pesquisa de opinião foi formalizado com base na estrutura GQM (BASILI, 1992): **analisar** opiniões **com o objetivo de** investigar desafios **com relação à** interoperabilidade **do ponto de vista dos** profissionais **no contexto de** SI.

O instrumento utilizado consistiu de um questionário com perguntas fechadas e abertas. Foram definidas três perguntas fechadas para coletar os dados de caracterização dos participantes. Por sua vez, foram definidas três perguntas abertas para coletar (a) os desafios da interoperabilidade de acordo com a experiência dos profissionais, (b) sugestões para mitigar os desafios mencionados e (c) qualquer comentário ou experiência extra do participante.

O questionário possuía questões demográficas destinadas a conhecer o tempo de atuação profissional no domínio da interoperabilidade e verificar se a ocupação atual expõe o participante aos desafios inerentes à interoperabilidade. A Tabela 5 apresenta as questões do questionário que, antes da execução, foi avaliado por um pesquisador no assunto de interoperabilidade que foi convidado a respondê-lo. Após a avaliação, alguns ajustes nas questões foram realizados e um termo de consentimento simples foi adicionado ao instrumento.

Tabela 5. Questões do formulário da pesquisa de opinião.

Seção	N °.	Questão
Caracterização dos Participantes	Q1	*Qual é o seu tempo de experiência com interoperabilidade?*
	Q2	*Setor de atuação*
	Q3	*Qual é a sua ocupação atual?*
Desafios de Interoperabilidade	Q4	*Quais são os desafios que você enfrenta ao lidar com interoperabilidade entre sistemas de informação?*
	Q5	*Quais são as suas sugestões para mitigar os desafios mencionados?*
	Q6	*Você tem algum comentário ou experiência extra para compartilhar?*

O questionário foi disponibilizado na plataforma do *Google Forms*[17]. As redes sociais (e.g., perfis e grupos de profissionais de interoperabilidade do *Linkedin*[18] e perfis de profissionais do *ResearchGate*[19]) foram utilizadas para obter uma amostra de participantes de diferentes regiões do mundo. Nas redes sociais, os participantes foram selecionados com base no perfil profissional e, após a seleção, o questionário *online* foi enviado aos participantes selecionados. Listas de e-mail de profissionais de SI também foram utilizadas para coletar participantes.

A pesquisa de opinião foi realizada entre 17 de junho e 1º de agosto de 2019. Foram obtidos dados de 14 participantes. Após a execução, os documentos individuais foram gerados com o conteúdo das respostas e, em seguida, descaracterizados para preservar a identidade dos participantes. O método de análise é descrito como segue.

4.3. Método de Análise

Os dados coletados foram analisados quantitativa e qualitativamente. Estatística descritiva foi usada para representar e descrever os dados demográficos dos participantes. A análise qualitativa foi realizada utilizando procedimentos da teoria fundamentada em dados (GT, do inglês *Grounded Theory)* (CORBIN e STRAUSS, 2014), porque a intenção foi extrair conhecimentos importantes para discussão a partir da amostra de participantes obtida. Para analisar os dados, os estágios 1 e 2 da codificação foram seguidos: (1) codificação aberta e (2) codificação axial (CORBIN e STRAUSS, 2014).

[17] http://bit.ly/Desafios-de-Interoperabilidade
[18] http://bit.ly/linkedin-profiles-01
[19] http://bit.ly/researchgate-invitations-01 e http://bit.ly/researchgate-invitations-02

No estágio de codificação aberta, as atividades realizadas foram: quebra de dados, análise, comparação, conceitualização e categorização. As respostas coletadas foram lidas atentamente e, para cada citação relevante, uma expressão, frase ou palavra foi atribuída formando códigos, categorias e subcategorias.

Após a etapa de codificação aberta, buscou-se identificar famílias de categorias, com o apoio da ferramenta de análise qualitativa Atlas.TI[20] e criar relações entre códigos, categorias e famílias, gerando inter-relações. Categorias são agrupamentos de conceitos que estão unidos em maior nível de abstração (CORBIN e STRAUSS, 2014). As representações gráficas foram criadas usando a ferramenta Atlas.TI.

No estágio de codificação axial, as categorias foram relacionadas às suas subcategorias, formando categorias densas e correlacionadas. O processo de codificação foi encerrado quando se percebeu que os dados não adicionavam mais novos conteúdos relevantes para o processo de análise e categorização. Após isso, os resultados foram obtidos e são descritos na próxima seção.

4.4. Resultados

Após a realização da pesquisa, os dados foram organizados e analisados quantitativamente (caracterização dos participantes) e qualitativamente (desafios da interoperabilidade em SI) como segue.

4.4.1. Caracterização dos Participantes

Em relação ao tempo que os participantes têm de experiência com interoperabilidade (Q1), as opções definidas foram *menos de 1 ano*, *1 a 5 anos*, *5 a 10 anos* e *mais de 10 anos*. Cinco (5) participantes indicaram mais de 10 anos de experiência, quatro (4) participantes indicaram 5 a 10 anos, quatro (4) participantes indicaram 1 a 5 anos e apenas um (1) deles possuía menos de 1 ano de experiência.

Em relação ao setor de ocupação dos participantes (Q2), seis (6) participantes trabalham na indústria, três (3) na academia e cinco (5) trabalham em ambos. Para identificar a ocupação atual dos participantes (Q3), os profissionais poderiam selecionar uma opção correspondente. As opções foram *trainee*, arquiteto de software, analista de sistemas, gerente de projetos, especialista em interoperabilidade, gerente de interoperabilidade, arquiteto de interoperabilidade e um campo aberto para o participante

[20] https://atlasti.com/

escrever outra posição que não foi listada. A Figura 13 apresenta o resultado obtido em relação à Q3.

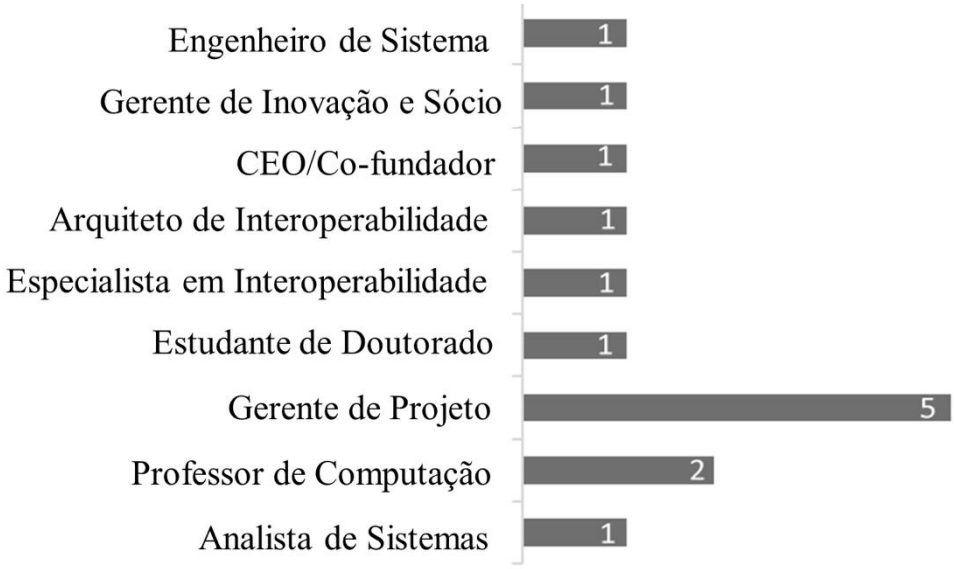


Figura 13. Ocupação dos participantes.

4.4.2. Desafios de Interoperabilidade

A análise qualitativa foi conduzida com base nas respostas obtidas por meio da Q4. Nessa análise, as codificações aberta e axial foram aplicadas. Na codificação aberta, os dados foram analisados em detalhes para a criação dos códigos relacionados a seções específicas das respostas. Na codificação axial, as categorias ou famílias foram identificadas e as relações entre códigos foram criadas possibilitando a geração de inter-relações.

À medida que se reconheceu similaridade entre os códigos, uma categoria ou família foi criada. Em cada código há dois números exibidos entre chaves cujo primeiro se refere ao número de citações ligadas ao código e o segundo se refere ao número de códigos gerados a partir dele. Esses números representam, de acordo com a ferramenta Atlas.TI, o grau de fundamentação e o de densidade do código.

Informações adquiridas sobre interoperabilidade no decorrer dos estudos, sobretudo com a identificação e discussão de fatores técnicos, humanos e organizacionais, auxiliaram o processo de criação de categorização de famílias de desafios. Mais detalhes sobre o processo de criação dos códigos estão disponíveis no Apêndice IV. As figuras apresentadas ao longo dessa seção ilustram os relacionamentos entre códigos por meio das linhas pretas que são identificados por um rótulo que descreve o tipo de relacionamento. As linhas vermelhas das figuras associam cada desafio identificado à categoria correspondente.

Com base nos resultados, quatro famílias de categorias para os desafios de interoperabilidade em SI foram identificadas: (i) **desafios relacionados a fatores humanos**; (ii) **desafios relacionados a dados**; (iii) **desafios relacionados a padrões**; e (iv) **desafios relacionados a questões técnicas**. Essas categorias são descritas a seguir.

4.4.2.1. Desafios Relacionados a Fatores Humanos

Essa categoria foi inspirada nos fatores humanos que influenciam a interoperabilidade definidos no estudo longitudinal. A Figura 14 mostra detalhes dos desafios relacionados a esta categoria. Desafios relacionados à **quebra de barreiras de comunicação**, **falta de visão colaborativa** entre equipes e **fusão de bases de conhecimento** foram relatados. Esses desafios foram associados à essa categoria uma vez que o modo como o compartilhamento de conhecimento e experiências ocorre entre pessoas pode influenciar na interoperabilidade de dados e/ou informações.

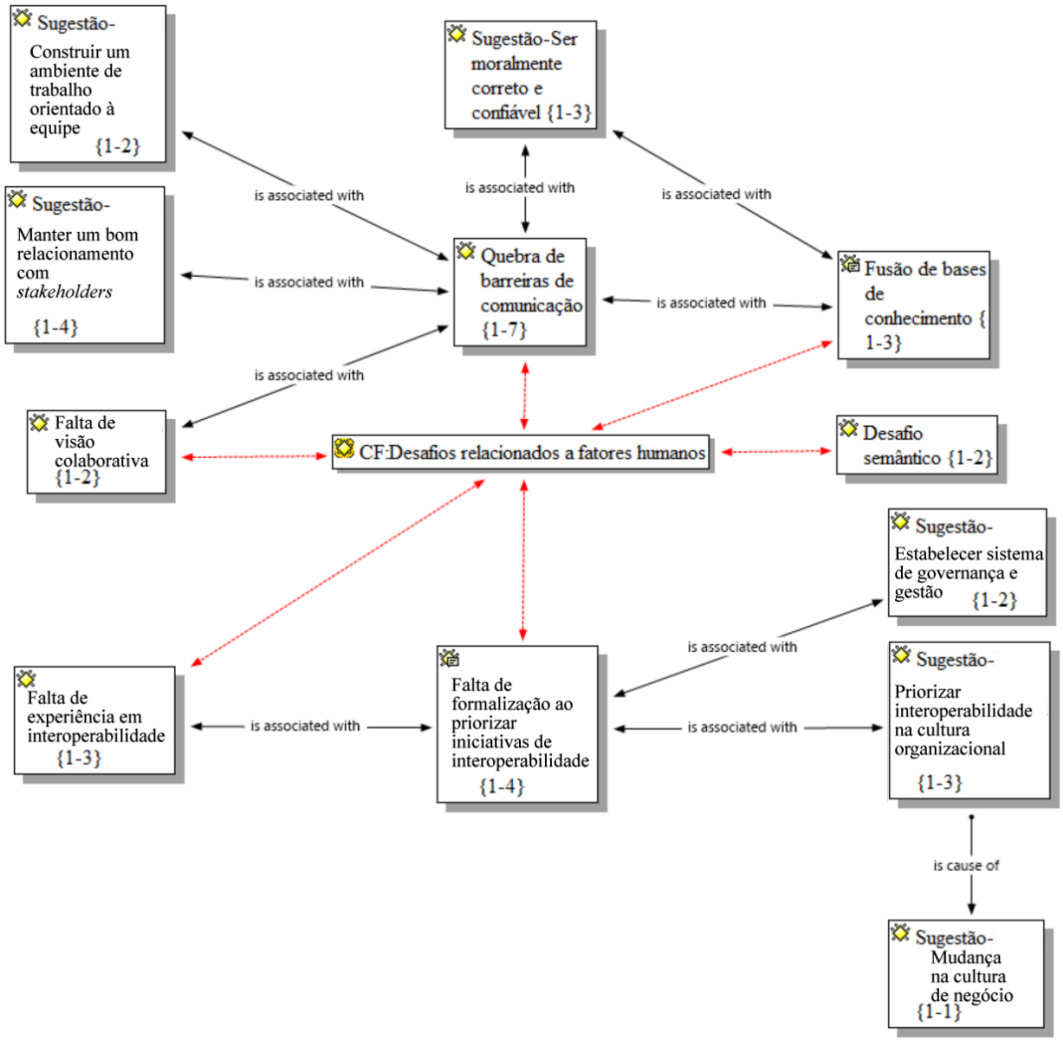


Figura 14. Desafios relacionados à categoria de fatores humanos.

Base de conhecimento é um termo utilizado por organizações para se referir às diversas informações armazenadas sobre o negócio. As bases de conhecimento

organizacionais contêm formatos de conteúdo diversificados e tipos de mídia de armazenamento diferentes. Elas são alimentadas para fomentar o compartilhamento de conhecimento entre *stakeholders*. Por exemplo, dados de uma base de conhecimento podem estar em qualquer lugar e serem gerenciados por diferentes colaboradores, gerando dificuldades para fundir essas bases. A dificuldade pode aumentar se a interoperabilidade for do tipo interorganizacional. O **desafio semântico** diz respeito à garantia de que o significado preciso das informações trocadas seja compreensível por qualquer outra aplicação (MICHENI et al., 2014). Esse desafio é especialmente abordado na literatura para tratar a dimensão de interoperabilidade semântica e/ou organizacional (BENSON e GRIEVE, 2016). Porém, esse desafio foi associado aos fatores humanos porque o suporte ao significado preciso de dados e informações passa primeiramente pelas pessoas.

A **falta de formalização ao priorizar iniciativas de interoperabilidade** foi uma das queixas relatadas pelos especialistas. Embora a interoperabilidade seja usada como estratégia para manter empresas competitivas, essa falta de formalização ou divulgação de iniciativas para a interoperabilidade pode gerar dificuldades. Nesse caso, a falta de iniciativas formais pode ter como consequência uma equipe de profissionais com **falta de experiência em interoperabilidade**, desafio que também foi identificado. Com relação a essas duas últimas dificuldades, observou-se a seguinte citação:

> "*Muitos dados legados e conformidade com novos requisitos contratuais e regulatórios; falta de experiência em lidar com interoperabilidade; poucos recursos; falta de abordagem formal de priorização de iniciativas*". [Participante 8]

4.4.2.2. Desafios Relacionados a Dados

Essa categoria apresenta questões relacionadas à dimensão da interoperabilidade sintática, i.e., formato das informações trocadas (CHEN et al., 2008). A Figura 15 mostra detalhes dos desafios relacionados a esta categoria. Desafios relacionados a **dados não padronizados** e **formatos de dados incompatíveis** foram identificados. Estes desafios podem estar associados a **esquemas proprietários de dados**. Apesar do advento da interoperabilidade entre organizações, algumas empresas usam esquemas proprietários para dificultar a leitura de arquivos por produtos concorrentes. Além disso, embora formatos de dados sejam bem consolidados tanto em pesquisas como na indústria, o **desconhecimento de formatos de dados** também foi relatado pelos profissionais como uma dificuldade na interoperabilidade.

Problemas de compartilhamento de dados e **auditoria de dados** também foram citados. Notou-se que os problemas de compartilhamento de dados podem ser causados

pela falta de permissão em negociar dados por razões de confidencialidade e privacidade. A auditoria de dados se refere à avaliação da qualidade dos dados ou a utilidade dos dados para uma finalidade específica. Nesse caso, **dados de propriedade privada** podem ser uma barreira para a realização de auditoria e podem gerar dificuldades de compartilhamento de dados.

Outras dificuldades citadas foram **dados corrompidos** (que é tido como uma das causas de inconsistência dos dados (CIOBANU et al., 2019), **falta de campos de dados nos arquivos de exportação** e **não conformidade de dados legados com novos requisitos regulamentares**. Por sua vez, o **desafio semântico** também foi associado à categoria de dados porque, no nível semântico, a comunicação é bem-sucedida se os sinais são interpretados para o emissor e o receptor de acordo com os mesmos princípios (LI et al., 2013). No contexto de SI, sinais podem ser chamados de dados e o remetente e receptor podem ser chamados de software ou pessoas princípios (LI et al., 2013). A seguinte citação exemplifica desafios relacionados a dados:

> "*Formatos de arquivo incompatíveis, corrupção de dados, APIs de buggy, auditoria de dados, correção de erros, confiabilidade dos dados, campos de dados não incluídos no 'arquivo de exportação*"". [Participante 12]

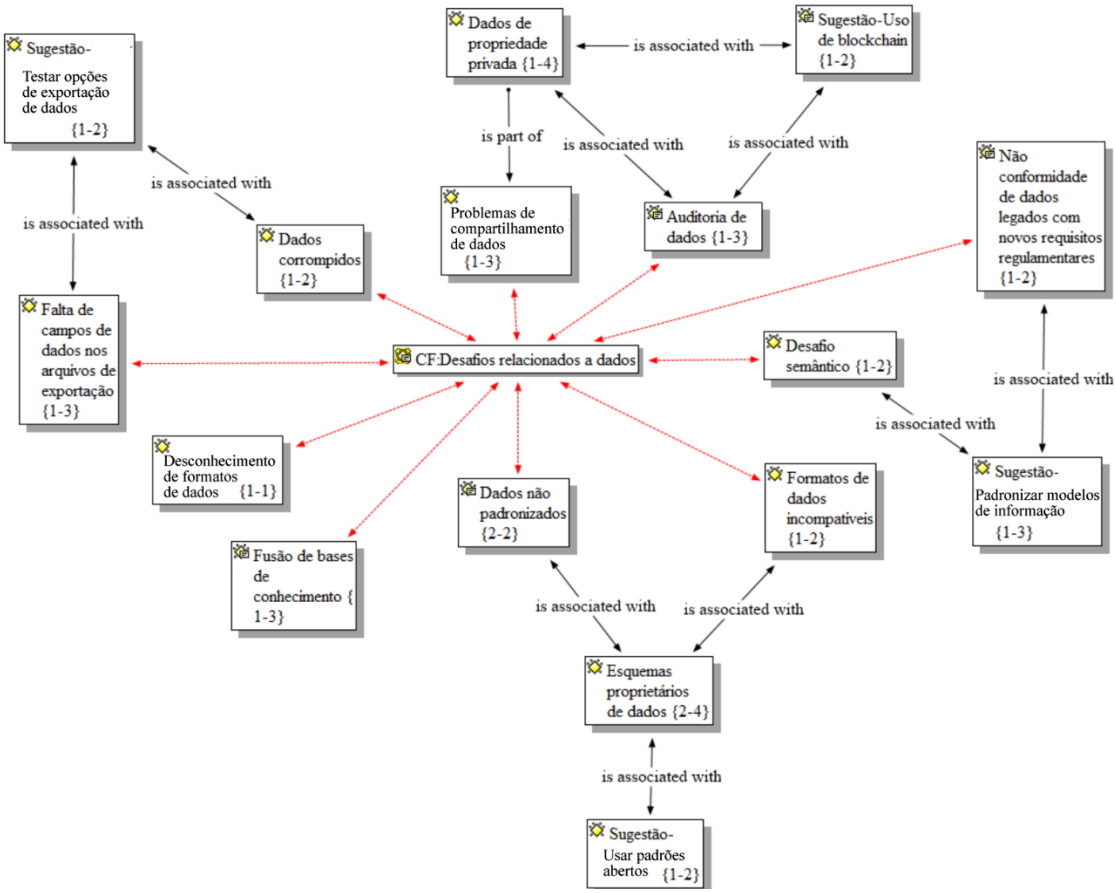


Figura 15. Desafios relacionados à categoria de dados.

A **fusão de bases de conhecimento** é um desafio que também foi associado a dados porque uma base também pode ser um repositório organizado em um sistema de computador (BUSINESS DICTIONARY); por exemplo, sistemas gerenciadores de banco de dados (SGBD).

4.4.2.3. Desafios Relacionados a Padrões

Um dos aspectos comuns da interoperabilidade está relacionado a padrões que vão de premissas a especificações técnicas que regulamentam a conectividade entre SI como políticas e acordos relativos a negócios (BERRE et al., 2007; ULLBERG et al., 2009; PAUL e PAUL, 2014; REZAEI et al., 2014; CHEN, 2017). Nesse sentido, os desafios relacionados a padrões vão além das incompatibilidades entre dados. Essa percepção motivou a criação da categoria em questão. A Figura 16 mostra detalhes dos desafios relacionados a essa categoria.

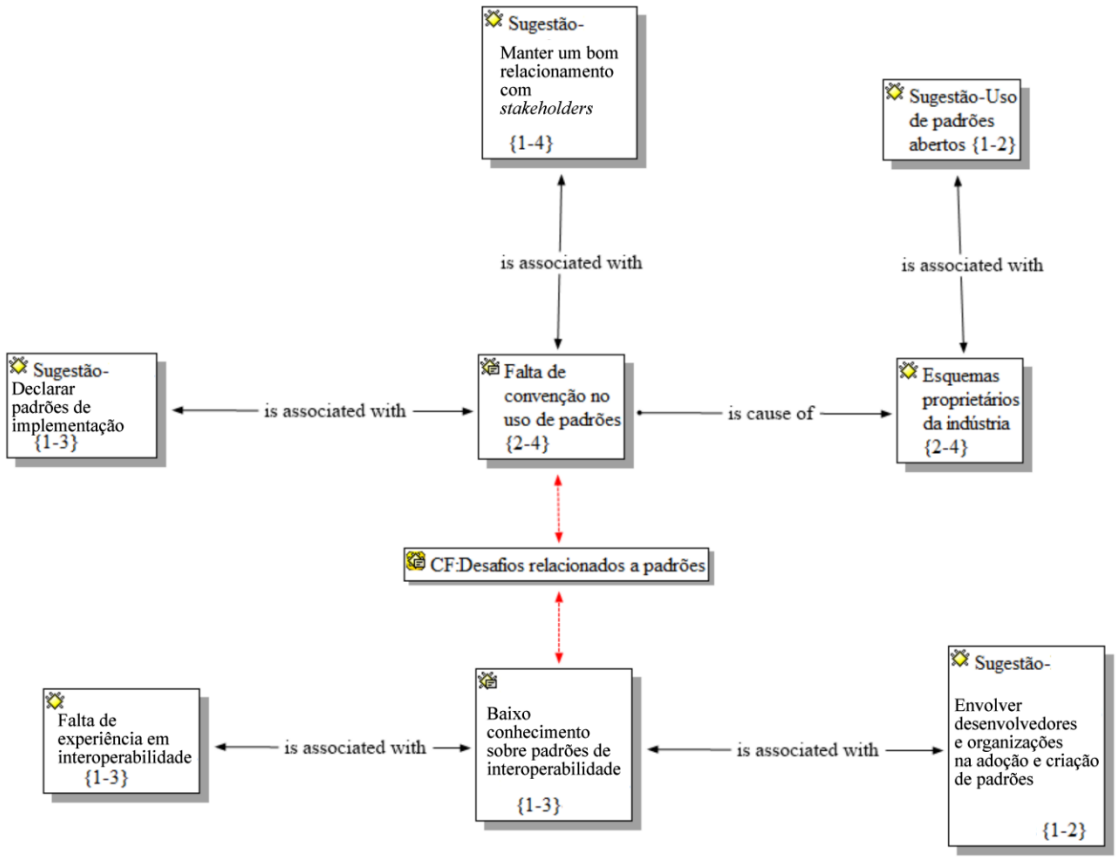


Figura 16. Desafios relacionados à categoria de padrões.

Os participantes informaram que a **falta de convenção no uso de padrões** e o pouco conhecimento sobre padrões de interoperabilidade representam parte das dificuldades relacionadas à essa categoria. De acordo com o Participante 14, o primeiro é geralmente causado por esquemas proprietários da indústria:

> "*Implementações não padronizadas de dados/padrões, geralmente causadas por esquemas proprietários do setor*". [Participante 14]

Existe uma gama de padrões disponíveis para a integração e interoperabilidade de aplicativos e SI (MYKKÄNEN e TUOMAINEN, 2008). Esses padrões de interoperabilidade podem: (i) especificar dados e informações em uma solução, (ii) descrever os nomes de parâmetros ou elementos, tipos e suas combinações; (iii) especificar os relacionamentos semânticos dos objetos (LENZ et al., 2007; BEALE, 2011); (iv) especificar componentes de software; (iv) especificar protocolos de redes; e (v) descrever processos de negócios (FERNANDES e SANTOS, 2018).

Empresas com certa posição dominante podem ter incentivos em adotar padrões interoperáveis. No entanto, é vantajoso para alguns setores de mercado optarem por **esquemas proprietários da indústria** (MYKKÄNEN e TUOMAINEN, 2008). Embora pareça controverso, esquemas proprietários podem dificultar que clientes troquem serviços para outros fornecedores pois a transferência de dados e processos para concorrentes pode não ser feita facilmente (MYKKÄNEN e TUOMAINEN, 2008; HAUN, 2019). A ISO, a IEEE e a literatura especializada propõem, classificam, discutem, comparam e avaliam padrões de interoperabilidade (MYKKÄNEN e TUOMAINEN, 2008; IEEE, 1992; ISO, 2001; ISO, 2005). Ainda assim, **baixo conhecimento sobre padrões de interoperabilidade** foi citado pelos participantes como um desafio. Isso pode estar relacionado à **falta de experiência em interoperabilidade**, caso o profissional esteja lidando com interoperabilidade pela primeira vez.

4.4.2.4. Desafios Relacionados a Questões Técnicas

Essa categoria foi inspirada nos fatores técnicos que influenciam a interoperabilidade, definidos no Capítulo 3. A Figura 17 mostra detalhes dos desafios relacionados a esta categoria.

Os participantes citaram que o **tempo de comunicação entre SI** é um desafio para a interoperabilidade. Isso pode estar associado a atraso ou falta de otimização para melhorar o desempenho computacional. Nesse caso, SI precisam trocar dados entre si ou chamar serviços *web*, mas o tempo de resposta pode não ser satisfatório.

A **execução de testes em sistemas interdependentes** e **dificuldade de correção de erros** foram citadas como questões enfrentadas. Como sistemas interdependentes, pode-se considerar SI que precisam de outros para operar. Em relação a esse desafio, observou-se a seguinte citação:

"*Durante o desenvolvimento, às vezes dá muito trabalho executar testes em sistemas que necessitam de outros para funcionar"*. [Participante 1]

Desafios relacionados a testes em sistemas interdependentes foram discutidos na literatura de SoS (NEVES et al., 2018). Desafios de teste no domínio de SoS, por exemplo, estão relacionados a: (i) o que deve ser testado, (ii) qual o critério de adequação apropriado para um constituinte e (iii) quais casos de teste devem ser selecionados (NEVES et al., 2018). Essas dificuldades também podem explicar a **dificuldade de correção de erros**. Além disso, **diferentes interfaces entre SI**, **API com erros** e **incompatibilidade no formato de arquivos** foram citados como desafios técnicos.

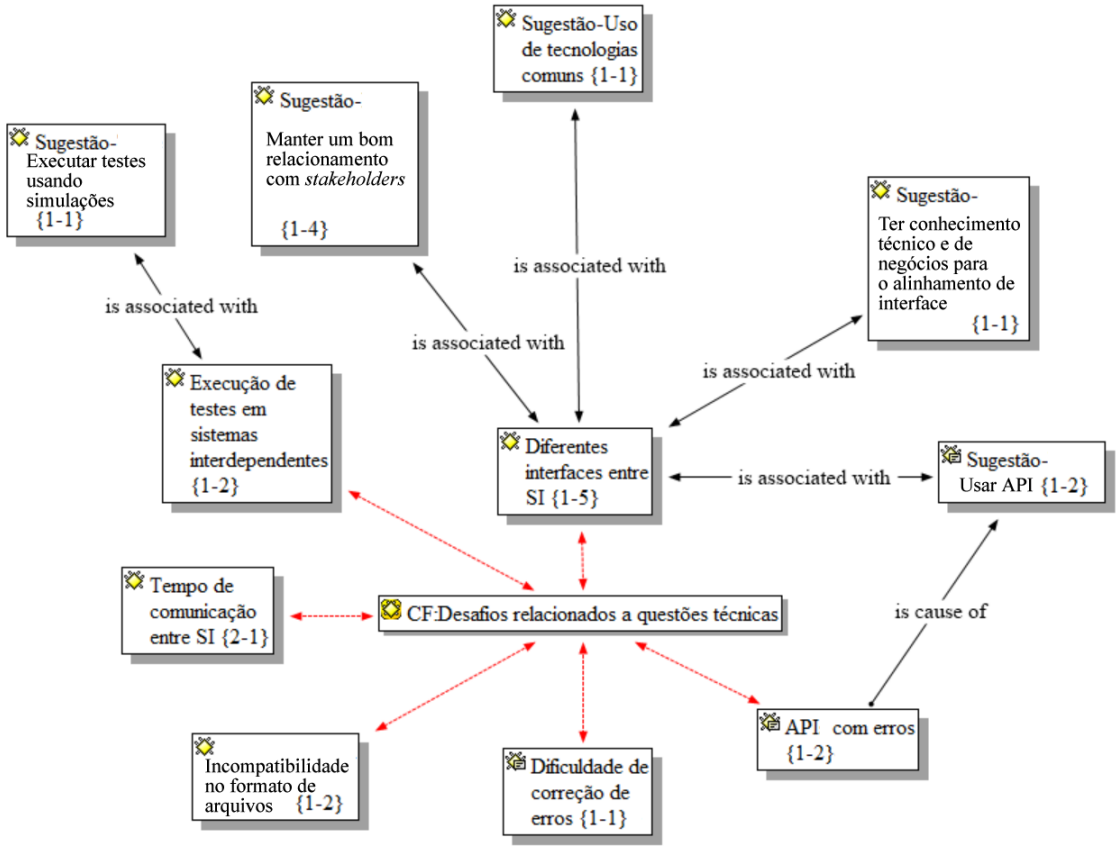


Figura 17. Desafios relacionados à categoria de questões técnicas.

Diferentes interfaces entre SI estão principalmente associadas a especificações de interfaces e integração contínua, nas quais o uso de microsserviços são tendências na indústria (CERNY et al., 2018; NEVES et al., 2018). Por sua vez, a utilização de API (do inglês, *Application Programming Interfaces*) possibilita ao cliente o acesso a dados que talvez não estejam disponíveis nas interfaces com o usuário (ALBA et al., 2008). Ou seja, um cliente pode buscar apenas um elemento específico em vez de uma página da *web* completa (ALBA et al., 2008). Assim, APIs são usadas na interoperabilidade, uma vez que elas servem como uma estratégia para colaboração e comunicação de serviços distribuídos (NEVES et al., 2018).

4.5. Análise e Interpretação dos Resultados

Resultados obtidos nesse estudo permitiram identificar desafios também relatados na literatura. Esta seção discute as sugestões de mitigação dos desafios mencionados pelos especialistas e como estes desafios e sugestões foram relacionados aos fatores de influência identificados na fase anterior desta pesquisa. O Apêndice IV exibe as associações criadas que embasam a interpretação dos resultados e contém textos que descrevem detalhes sobre inter-relações entre as categorias descritas nesta seção.

Os resultados foram analisados considerando o perfil profissional dos participantes tanto em relação ao tempo de experiência com interoperabilidade como em relação ao setor de ocupação (indústria ou academia). Três (3) categorias de experiência profissional foram criadas para facilitar a interpretação dos resultados, são elas: mais de 10 anos, entre 5 e 10 anos de experiência e menos de 5 anos (Figura 18).

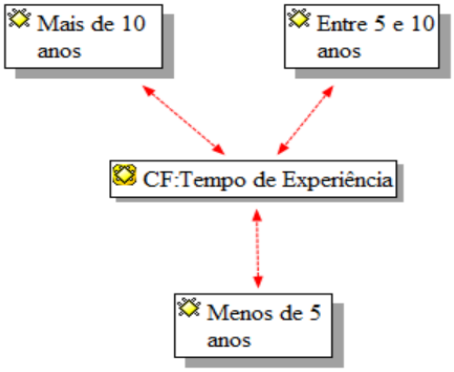


Figura 18. Tempo de experiência dos participantes da pesquisa de opinião.

Para mitigar desafios relacionados à categoria de dados, um especialista sugeriu **uso de *blockchain***. Embora o participante não tenha especificado como e para quê *blockchain* pode ser utilizado para mitigar desafios de interoperabilidade, pesquisas recentes têm abordado o uso de *blockchain* para tratar dados. Como exemplo, cita-se: (i) utilização de contratos inteligentes de *blockchain* como mediadores em solução de pagamentos; (ii) interseção entre *blockchains* e regulamentos de proteção de dados; e (iii) modelos de gerenciamento de dados implantados em nuvem (ALBERINI e PFAMMATTER, 2019; CHANSON et al., 2019; ZHU et al., 2019). Assim, essa sugestão pode ajudar a atenuar desafios relacionados a dados de propriedade privada e questões de compartilhamento, além de auxiliar a auditoria de dados quando é necessário preservar a privacidade (LAUDON e LAUDON, 2011). A questão da auditoria chama atenção por ter sido relatada por um participante com mais de 10 anos de experiência.

Os desafios de dados não padronizados e formatos incompatíveis foram associados a esquemas proprietários. Nesse caso, **usar padrões abertos** foi citado como sugestão

para mitigar esses desafios, corroborando com a literatura que considera o uso de padrões abertos um auxílio para questões de compartilhamento de dados (HOFMAN, 2019). Isso porque a disseminação de dados e informações públicas na Web possibilita a sua reutilização e pode contribuir para que o domínio de SoIS se beneficie à medida que recursos compartilhados sirvam para o cumprimento de algum objetivo de um arranjo formado. O portal brasileiro de dados abertos[21], por exemplo, disponibiliza dados de domínio público para que a sociedade os utilize para prover novos serviços ou informações. Caso um arranjo de SoIS necessite de informações acerca de instituições financeiras para o cumprimento de algum objetivo secundário, o acesso ao catálogo público das instituições brasileiras pode ser obtido *online*[22]. No entanto, um time de gestão em SoIS esbarra no desafio de desconhecimento de formatos de dados e compartilhamento caso haja resistência por parte de *stakeholders* detentores de SI que possuem capacidades para prover recursos para o SoIS.

Por sua vez, **manter um bom relacionamento com *stakeholders*** e ter uma autoridade que possa **declarar padrões de implementação** foram sugestões dadas como forma de mitigar o desafio de dados não padronizados. Essas sugestões são válidas para arranjos como SoIS à medida que um ator possa orquestrar as necessidades de interoperações entre SI por relações com *stakeholders* detentores dos sistemas. Embora um gerente de SoIS possa declarar padrões de implementação para um arranjo, a depender do tipo de arranjo formado (direcionado ou reconhecido), não há garantia do cumprimento e adequação dos SI para o cumprimento desses padrões. A falta de garantia se dá pelo fato dos SI em SoIS terem autonomia a ponto do time de gestão ao qual os SI pertencem terem a liberdade de deixar o arranjo. Isso pode ocorrer pelo fato do time de gestão considerar que a adequação afeta o objetivo individual desses SI.

Ser moralmente correto e confiável foi uma sugestão extraída das respostas para mitigar o desafio da fusão de bases de conhecimento. Essa sugestão, embora subjetiva, faz parte de uma característica desejável para o time de gestão que lida com interoperabilidade e considera fatores humanos. Em relação ao desafio semântico, **padronizar modelos de informação** foi sugerido como uma forma de atenuar o problema. Com relação a isso, deve-se considerar que em SoIS o trabalho em torno da padronização não é algo que possa ser imposto, conforme foi discutido anteriormente na sugestão relacionada à declaração de padrões de implementação.

[21] http://www.dados.gov.br/
[22] http://www.dados.gov.br/dataset/ir-60746948000112/resource/93732f88-a939-47c3-953a-3b313ad58bcd

Especialistas com mais de 10 anos de experiência relataram que a falta de campos em arquivos de exportação, dados corrompidos e a não conformidade de dados legados com os novos requisitos regulamentares são desafios recorrentes no contexto da interoperabilidade. Nesse caso, **testar opções de exportação de dados** antes de usar um novo sistema foi uma sugestão citada como ação mitigadora do desafio relacionado à falta de campos de dados nos arquivos de exportação e dados corrompidos.

Manter um bom relacionamento com *stakeholders*, **uso de tecnologias comuns** a todos os SI envolvidos, **ter conhecimento técnico e de negócio para o alinhamento de interface** e **usar API** para interfaces distintas foram citados como sugestões para mitigar o desafio de diferentes interfaces entre o SI. Embora o uso de API tenha sido citado como ação de mitigação, os desafios de correção de erros e relacionados a *bugs* de API foram citados por especialistas com mais de 10 anos de experiência.

O desafio técnico referente à execução de testes em sistemas interdependentes foi relatado por participantes com menos de 5 anos. Para atenuar desafios relacionados, especialistas sugeriram **executar testes usando simulações**. Os especialistas consultados não informaram como as simulações podem atenuar os desafios. Em contrapartida, estudos relatam que há dificuldade em manter o comportamento de simulações compatível com comportamentos de classes originais e que simulação aumenta o acoplamento entre o teste e o código de produção (REEVE et al., 2019; SPADINI et al., 2019). Nesse sentido, a utilização de simulação que tem sido tema de estudo em SoS como um dos recursos valiosos para lidar com a complexidade (GRACIANO NETO et al., 2018). Segundo GRACIANO NETO et al. (2018), simulações podem suportar correção de software em SoS.

O tempo de comunicação entre SI e diferentes interfaces entre SI foram desafios relatados por participantes com 5 a 10 anos de experiência. Para o desafio do tempo de comunicação entre SI, não houve nenhuma sugestão. Desafios da categoria dados e questões técnicas serviram de insumos para elencar algumas preocupações em torno dos fatores técnicos identificados no estudo longitudinal. Embora muitos desafios influenciem a interoperabilidade em outros domínios, a Figura 19 concentra os desafios que particularmente em SoIS exigem especial atenção devido às razões anteriormente discutidas.

Notou-se que algumas sugestões envolvem aspectos que não classificados como soluções tecnológicas. Desafios relacionados à categoria de fatores humanos como a quebra de barreiras de comunicação e fusão de bases de conhecimento foram relatados por especialistas com menos de 5 anos de experiência em interoperabilidade. A falta de

visão colaborativa entre equipes foi um desafio relatado pela maioria dos especialistas com 5 a 10 anos de experiência. Para mitigar essas questões, os participantes citaram que **construir um ambiente de trabalho orientado a equipe**, **ser moralmente correto e confiável** e **manter um bom relacionamento com *stakeholders*** são ações positivas.

Esses desafios mencionados são pertinentes em ambientes organizacionais, sobretudo ao considerar a interoperabilidade intraorganizacional, porque a percepção acerca das barreiras de comunicação, fusão de bases de conhecimento e falta de visão colaborativa são mais perceptíveis. Isso está relacionado a um cenário mais controlável, fruto da natureza de uma organização. A dificuldade das pessoas em compartilhar ideias, coordenar esforços e fornecer *feedback* entre membros da equipe são exemplos de problemas de comunicação humana (MOURA et al., 2019). Construir um ambiente de trabalho orientado à equipe depende de fatores, como cultura, eficácia da liderança de equipes, organização e senso de responsabilidade (*accountability*) (FAPOHUNDA , 2013; MOURA et al., 2019). *Accountability* por sua vez tem sido uma preocupação investigada no domínio de SoIS (CORDEIRO e SANTOS, 2019).

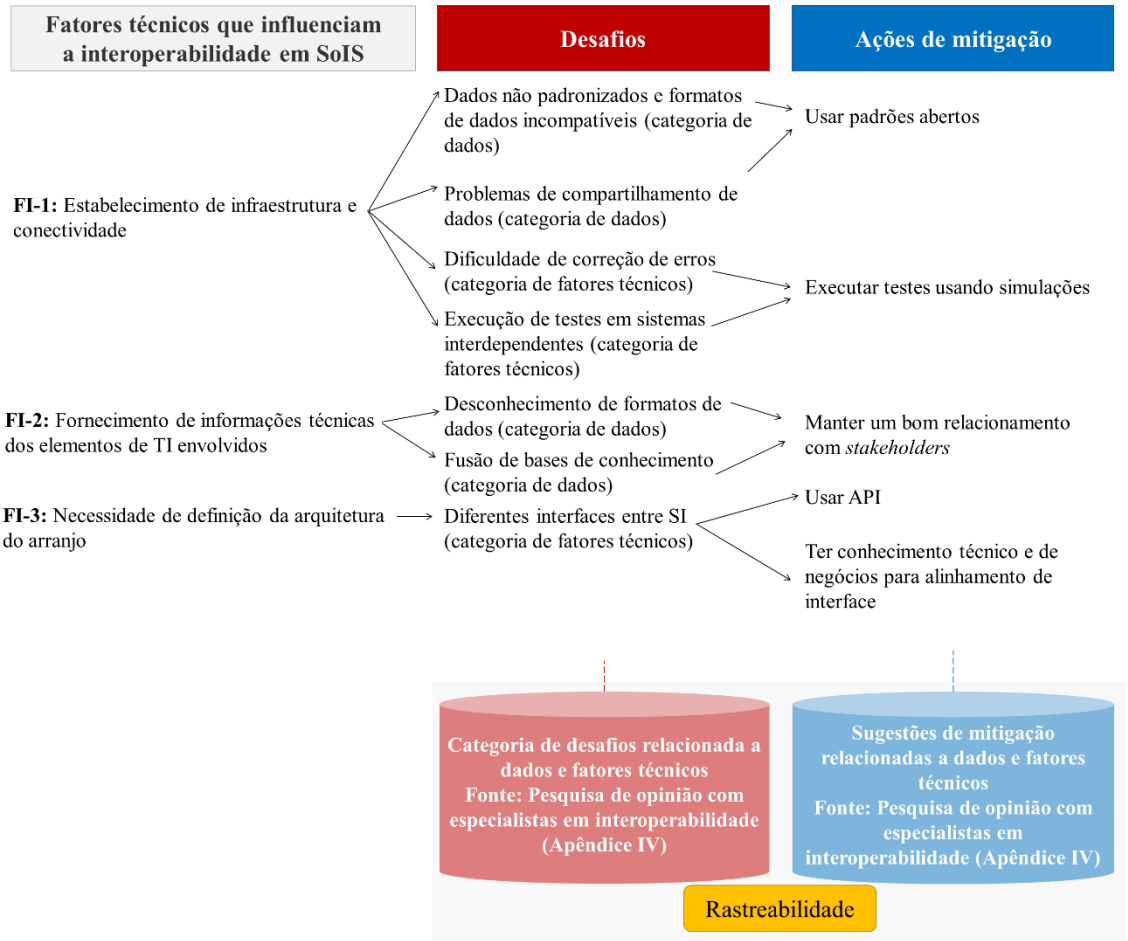


Figura 19. Desafios e sugestões de mitigação em torno dos fatores técnicos.

Por sua vez, a interoperabilidade interorganizacional em SoIS pode lidar com essas questões, porém mitigá-las com a construção de ambientes orientados a equipe pode não

ser viável. Isso se deve ao fato do time de gestão de SoIS ter de lidar com a independência gerencial dos SI constituintes. Nesse caso, a gestão do SoIS pode não ter autoridade ou nem mesmo conhecimento sobre questões internas das equipes de gerência dos constituintes para ter de lidar com esse desafio. Entretanto, espera-se do time de gestão do SoIS habilidades necessárias para que um bom relacionamento com *stakeholders* seja mantido a fim de coordenar a colaboração entre os SI do arranjo. Nesse sentido, espera-se uma equipe técnica e gestora de SoIS nutrida de moral e confiança para lidar com as questões que envolvem os fluxos de processos de negócios que englobam mais de uma organização.

O desafio semântico foi relatado pela maioria dos participantes com 5 a 10 anos de experiência. Para mitigar esse desafio, **padronizar modelos de informação** foi uma sugestão citada por um especialista com mais de 10 anos de experiência. Esses modelos desempenham um papel importante em ambientes integrados (JARDIM-GONÇALVES, e STEIGER-GARÇÃO,, 2001) e podem auxiliar no desafio da não conformidade de dados legados com novos requisitos. A falta de formalização das iniciativas de interoperabilidade e a falta de experiência em interoperabilidade foram desafios citados por especialistas com mais de 10 anos de experiência. Eles sugerem, como mitigação, **mudança na cultura de negócio**, **estabelecer sistema de governança e gestão** e **priorizar interoperabilidade na cultura organizacional**.

É importante ressaltar que os conceitos de governança e gestão não são equivalentes. Governança diz respeito à conquista dos objetivos, enquanto gestão se preocupa com a forma como os objetivos serão alcançados (LEAL, 2019). Ambas são importantes para o domínio de SoIS. Conforme as respostas, priorizar interoperabilidade por meio da definição de políticas sob gestão e operações reforça a obtenção de bons resultados. No entanto, há de se considerar que a governança em SoIS envolve SI administrados por equipes de gestão diversas. Logo, esse sistema de governança pode estar relacionado a um contexto interorganizacional em que a priorização da interoperabilidade na cultura de cada organização participante do arranjo não é responsabilidade do gestor do SoIS. Cabe a esse ator, nesse sentido, a habilidade de manter boas relações com *stakeholders*, ser confiável e **ter conhecimento técnico e de negócio para o alinhamento de interfaces**.

Apenas algumas sugestões de mitigação relacionados à categoria de fatores humanos que foram extraídos das respostas dos participantes foram associadas aos fatores humanos que influenciam a interoperabilidade em SoIS. Isso se deve ao fato de que, nesse tipo de arranjo, o grau de pertencimento dos SI e a autonomia gerencial e operacional dos

sistemas impedem que ações de mitigação possam ser viáveis. Um exemplo disso está relacionado à padronização de modelos de informação. Embora padronizar modelos de informação auxilie a mitigar o desafio semântico, segundo os especialistas, tanto a confiança como o bom relacionamento estabelecido entre *stakeholders* em um SoIS podem ser mais apropriados para o cumprimento do objetivo do arranjo em determinado momento. A natureza mutável de SoIS pode levar o time de gestão do arranjo a não conseguir padronizar modelos de informação em tempo hábil para manter a execução do SoIS. O arranjo pode mudar constantemente porque um ou mais SI constituintes podem deixar de participar do SoIS, forçando o time de gestão a reorganizar o SoIS com novos sistemas. A Figura 20 procura ilustrar a associação de fatores humanos identificados no estudo longitudinal com os desafios e ações de mitigação pertinentes ao domínio de SoIS.

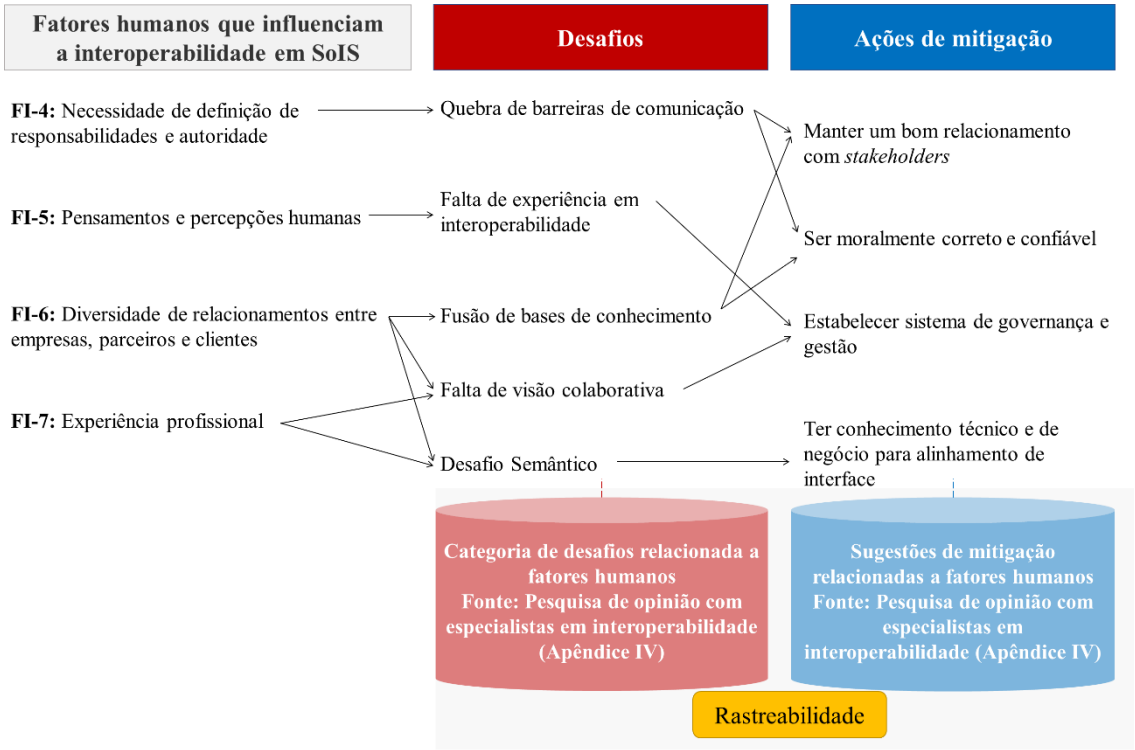


Figura 20. Desafios e sugestões de mitigação em torno dos fatores humanos.

Por sua vez, com relação à categoria de dificuldades relacionadas a padrões, o desafio referente à falta de convenção no uso de padrões foi relatado por um participante com mais de 10 anos de experiência. Padrões em interoperabilidade não se relaciona apenas à questão de dados e, por isso, uma categoria à parte foi criada. O desafio relacionado a pouco conhecimento sobre padrões de interoperabilidade foi relatado por um participante com menos de 5 anos de experiência. Sobre a falta de convenções no uso de padrões, o especialista citou que alguma autoridade deve **declarar padrão de implementação** para mitigar esse desafio.

Além disso, participantes citaram que **manter um bom relacionamento com os *stakeholders*** e **envolver desenvolvedores e organizações na adoção e criação de padrões** podem ajudar a mitigar a falta de conhecimento sobre padrões. Consequentemente, essas sugestões podem mitigar o problema da falta de experiência em interoperabilidade que também está vinculado a desafios de dados, a questões técnicas e fatores humanos. No entanto, no domínio de SoIS, o envolvimento de desenvolvedores e organizações para a adoção e criação de padrões depende do grau de interdependência que os SI constituintes com autonomia possuem no arranjo. Esse grau de interdependência dos SI em um arranjo pode aumentar ou diminuir a ideia de pertencimento de um constituinte ao arranjo. Essa lógica vai de encontro à natureza dinâmica do SoIS que traz a ideia dos SI deixarem de participar do arranjo caso as organizações ou unidades organizacionais detentoras dos constituintes optem por isso.

O time de gestão do SoIS tem a responsabilidade de buscar mecanismos de manter os SI no arranjo para o cumprimento dos objetivos do SoIS em meio à necessidade de cada constituinte atingir o seu objetivo individual, i.e., o propósito determinado no instante da concepção de um SI. No entanto, os papéis desempenhados por esse time podem não garantir a adoção de padrões por parte dos SI constituintes. Manter o arranjo operando em prol do objetivo principal de um SoIS é um desafio maior no contexto interorganizacional pela falta de autoridade que o gestor de SoIS pode apresentar diante dos SI constituintes. A Figura 21 exibe a sumarização de desafios e ações de mitigações extraídas das respostas do ponto de vista organizacional. Essas informações serviram de insumos para compreender preocupações em torno dos fatores intra ou interorganizacionais que influenciam a interoperabilidade no domínio de SoIS.

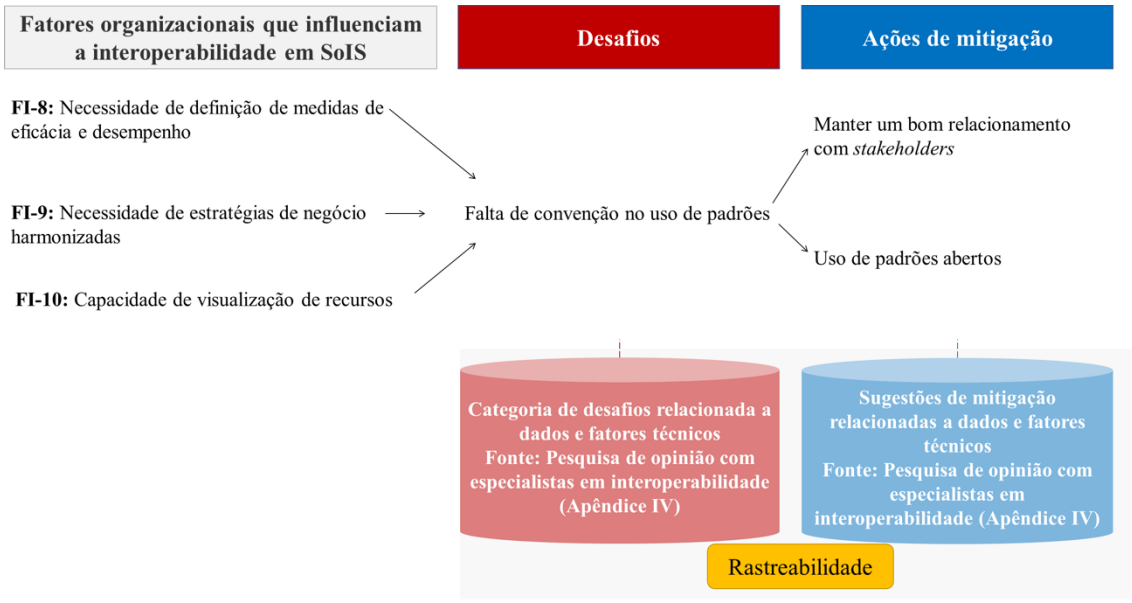


Figura 21. Desafios e sugestões de mitigação em torno dos fatores organizacionais.

Nesse estudo, priorizou-se discutir desafios que estão relacionados ao contexto de SoIS. No entanto, outras discussões foram geradas ao longo da interpretação dos resultados e que podem servir de insumos para investigar interoperabilidade, independente de um SI fazer parte ou não de arranjos de sistemas complexos. Essas discussões estão descritas no Apêndice IV e podem ser úteis para pesquisas futuras.

4.6. Ameaças à Validade

Essa pesquisa de opinião aponta algumas implicações. Os resultados deste estudo podem ser afetados pela validade do instrumento, validade interpretativa e método de seleção das amostras. As implicações e ameaças à validade são discutidas nessa seção.

4.6.1 Validade do Instrumento

Uma ameaça à validade diz respeito à capacidade de avaliar o instrumento com perguntas qualitativas (MOLLÉRI et al., 2019). Para minimizar isto, um piloto para avaliação do instrumento foi conduzido com um especialista em interoperabilidade que atua na indústria. O participante do piloto deu sua opinião sobre cada uma das questões. O participante auxiliou, por exemplo, a definir uma lista de opções de ocupações/cargos existentes na indústria para profissionais de interoperabilidade.

4.6.2 Validade Interpretativa

Outra ameaça potencial à validade diz respeito à interpretação dos resultados. Neste estudo, perguntas abertas foram elaboradas para coletar as opiniões dos participantes. As perguntas em si não são isentas de viés, pois são formuladas e direcionadas para extrair respostas que ajudem a responder a questão de pesquisa.

Questões abertas estão associadas a respostas subjetivas, o que restringe a análise dos dados (MOLLÉRI et al., 2019). Para reduzir esse efeito, a análise das opiniões dos participantes foi apoiada em artigos científicos que auxiliaram a identificar se tais desafios e sugestões de mitigação dos desafios são relatados ou abordados na literatura.

Outro fator que pode representar uma limitação à interpretação dos dados é o fato da pesquisa ter sido realizada com especialistas de diferentes nacionalidades (6 participantes responderam em português e 10 participantes responderam em inglês). Não há como garantir que os termos relacionados à computação sejam padronizados pelos profissionais da indústria. Logo, a maneira como um participante relata um desafio por

escrito pode envolver alguma particularidade cultural que dificulte a interpretação exata ou identificação de desafios similares com nomes diferentes.

Por fim, a análise qualitativa que foi utilizada para interpretar e discutir os resultados envolve criatividade, experiência e viés do pesquisador. Para amenizar o viés, os códigos criados e as análises realizadas foram verificadas por um pesquisador com experiência em estudos qualitativos que não estava envolvido diretamente no estudo.

4.6.3 Método de Seleção das Amostras

O método de seleção e coleta da amostra pode ser um fator limitante. A coleta de participantes envolveu listas de contatos e redes sociais de profissionais que trabalham com interoperabilidade (*LinkedIn* e *Research Gate*). Essas redes sociais têm particularidades que devem ser consideradas quando são enviados convites para responder um formulário de pesquisa de opinião. No *LinkedIn*, por exemplo, é mais provável que pessoas se interessem em responder exatamente quando recebem a notificação do convite do que quando o convite é divulgado em um grupo do *LinkedIn*. Embora o convite direto tenha sido mais eficaz do que os convites lançados nos grupos do *LinkedIn*, não há como prever o retorno das respostas.

Houve a tentativa de buscar participantes por meio de lista de contatos de *proceedings* especializados em interoperabilidade, porém não foi obtido sucesso devido à quantidade de e-mails que não são mais válidos. Nesse caso, o número total de convites enviados para listas de contatos não pode ser contabilizado, porque não foi possível obter a quantidade de profissionais cadastrados nas listas de contatos. No entanto, foi possível contabilizar o total de *clicks* obtidos para o acesso às versões do questionário, sendo 7 cliques no formulário em português e 42 cliques do formulário em inglês. Ao final, o total de 14 especialistas responderam à pesquisa de opinião.

4.7. Considerações Finais

Esse capítulo, que reporta a terceira fase dessa pesquisa, apresentou a pesquisa de opinião conduzida com profissionais de interoperabilidade. Por meio desse estudo, foi possível identificar quatro categorias de dificuldades relacionadas à interoperabilidade: (i) desafios relacionados a fatores humanos; (ii) desafios relacionados aos dados; (iii) desafios relacionados a padrões; e (iv) desafios relacionados a questões técnicas.

Embora as dificuldades tenham sido agrupadas, os resultados mostraram que os desafios de interoperabilidade e as sugestões de mitigação são interdependentes. Em

geral, as sugestões para mitigar desafios de interoperabilidade não envolvem somente fatores categorizados como soluções tecnológicas. Percebeu-se que as soluções tecnológicas em torno dos desafios de interoperabilidade são conhecidas pelos profissionais. Entretanto, somente o uso de ferramentas não é suficiente para solucionar todas as barreiras impostas pelo contexto. Um exemplo disso é que uma solução técnica utilizada para resolver alguma dificuldade pode gerar outras barreiras técnicas.

Portanto, lidar com os desafios de interoperabilidade em SI vai além de considerar somente os aspectos técnicos. Isso se deve ao advento do desenvolvimento aberto que provê rupturas na maneira como as alianças entre organizações são feitas para que os SI interoperem. No entanto, isso também se deve à maneira como os SI e os usuários apresentam suas demandas por funcionalidades. Tal discussão é destacada por MOTTA et al. (2017). Os autores consideram que os diferentes tipos de arranjos de sistemas forjados no cenário atual não devem refletir só aspectos da integração técnica dos sistemas.

Os fatores que influenciam a interoperabilidade em SoIS identificados (Capítulo 3) e a discussão baseada nos desafios de interoperabilidade identificados na pesquisa de opinião com especialistas em interoperabilidade serviram para ampliar a discussão acerca do domínio de SoIS. Com esses insumos, conjecturou-se diretrizes para o *design* de *links* de interoperabilidade em SoIS. Para formalizar a caracterização desse domínio e a partir disso apoiar o *design* dos *links*, um modelo conceitual foi concebido, avaliado e refinado na quarta fase da pesquisa, cujos detalhes são apresentados no próximo capítulo.

Capítulo 5. Modelo Conceitual de SoIS

Esse capítulo apresenta o modelo conceitual desenvolvido nessa pesquisa para apoiar o entendimento dos elementos envolvidos no contexto de SoIS e servir de auxílio para o estabelecimento de *links* de interoperabilidade. Esse capítulo inicia com uma seção introdutória que descreve a motivação e justificativa para a concepção do modelo (Seção 5.1). Em seguida, o método de concepção (Seção 5.2), a apresentação do modelo conceitual (Seção 5.3) e o processo de avaliação (Seção 5.4) são descritos. A Seção 5.5 apresenta um guia de utilização do modelo e a Seção 5.6 sumariza diretrizes para interoperabilidade em SoIS. Por fim, são descritas as ameaças à validade (Seção 5.6) e feitas as considerações finais (Seção 5.7).

5.1. Introdução

Conforme discutido nos capítulos anteriores, SoIS é tido como uma rede dinâmica de múltiplos SI independentes que materializa uma aliança interorganizacional para entregar novos serviços para a sociedade. O intuito da formação de um SoIS se dá pelo fato de que esses serviços não poderiam ser prestados caso uma aliança entre organizações capazes de reunir capacidades de diferentes SI não fosse formada.

Como exemplo de SoIS, pode-se destacar um sistema municipal de informações urbanas que tem como objetivo principal reunir, gerir, integrar e atualizar o conjunto de informações sobre uma cidade[23]. Para isso, a cidade estabelece um canal de comunicação entre órgãos como forma de subsidiar políticas públicas que somente são possíveis quando as capacidades de diferentes SI interoperam por meio de uma aliança.

Embora estudos sobre SoIS tenham sido publicados na literatura científica (YAHIA et al., 2009; MAJD et al., 2015; SALEH e ABEL, 2015; SALEH e ABEL, 2016a; SALEH e ABEL, 2016b; SALEH et al., 2016; ALI et al., 2017; GRACIANO NETO et al., 2017b; SALEH e ABEL, 2017; AFOUTNI et al., 2018; TEIXEIRA et al., 2019) uma caracterização precisa do que é conhecido como SoIS não foi encontrada. Como tal, é difícil distinguir um SoIS de outros sistemas complexos, como SI federados (do inglês, *Federated Information Systems* – FIS) (BUSSE et al., 1999) ou mesmo SoS.

[23] http://www.rio.rj.gov.br/web/ipp/siurb

Distinguir as diferentes formações dos conjuntos de sistemas permite que estratégias mais adequadas para o estabelecimento de *links* de interoperabilidade sejam definidas. Nesse sentido, um modelo conceitual para SoIS foi estabelecido a fim de auxiliar a identificação dos elementos envolvidos nesse domínio. Modelos conceituais são importantes para a área de SI por reunirem o conhecimento acumulado de pesquisadores/profissionais e o conjunto de propriedades relevantes a fim de relacioná-los entre si para que um domínio possa ser representado (OLIVÉ, 2007). Por sua vez, um domínio consiste em objetos, relacionamentos e conceitos (OLIVÉ, 2007). Embora existam outras visualizações possíveis para caracterizar um domínio, e.g. ontologia, na área de SI, modelos conceituais são utilizados para caracterização de domínios (OLIVÉ, 2007).

O modelo conceitual de SoIS é uma versão estendida do modelo proposto por GONÇALVES et al. (2014) e foi projetado para suprir uma das lacunas de pesquisa relacionada à falta de formalização conceitual de SoIS, discutida na Seção 3.1.2. A justificativa para escolher GONÇALVES et al. (2014) como referência é que os autores consideram tanto a norma ISO/IEC/IEEE 42010 (ISO, 2011) como estudos e taxonomias anteriores sobre SoS para compreender um tipo de arranjo chamado SoS intensivos em software (SiSoS, do inglês *Software Intensive Systems-of-Systems*). SiSoS concentra as características de SoS que também podem ser aplicadas ao contexto de SoIS. Porém, o modelo de GONÇALVES et al. (2014) foca no software como elemento central ao passo que o modelo de SoIS foca nos elementos dos SI reforçando o caráter da interoperabilidade.

O modelo conceitual de SoIS foi concebido tendo em vista que interoperabilidade nesse domínio engloba um conceito multidimensional que considera todos os elementos em torno dos SI envolvidos e não somente o software isoladamente. Esse modelo visa apoiar uma gestão de TI orientada aos *links* de interoperabilidade a serem estabelecidos quando se almeja manter a independência gerencial e operacional dos SI. Para esse fim, diferentes tipos de sistemas relatados pela literatura especializada foram identificados e analisados nos estudos anteriores de revisão de literatura e mapeamentos sistemáticos.

No modelo de SoIS, foram priorizados os elementos que não costumam ser foco de investigação na interoperabilidade de outras estruturas de sistemas. Assim, os fatores de influência identificados e os resultados da pesquisa de opinião serviram como insumos para a caracterização do domínio de SoIS. Como resultado, um modelo para apoiar gerentes de TI a distinguir um SoIS de outras classes de sistemas foi construído. Além disso, o modelo apoia a identificação de elementos que devem ser considerados no *design*

dos *links* de interoperabilidade em SoIS. O modelo foi avaliado para verificar se nele estão presentes os elementos que caracterizam esta classe de sistemas. Em seguida, o modelo foi instanciado utilizando arranjos de SI para demonstrar a sua viabilidade. O método de concepção do modelo é descrito na próxima seção.

5.2. Método de Concepção

Para obter o modelo proposto nesta pesquisa, uma metodologia com três etapas foi seguida: (1) Revisão da literatura especializada para explorar os conceitos existentes sobre os princípios básicos de SoIS; (2) Construção do modelo conceitual; e (3) Avaliação. A etapa de avaliação envolveu cinco atividades: (1) Planejamento; (2) Execução; (3) Análise dos resultados; (4) Refinamento do modelo; e (5) Instanciação do modelo. A Figura 22 ilustra o processo metodológico realizado nesta fase da pesquisa.

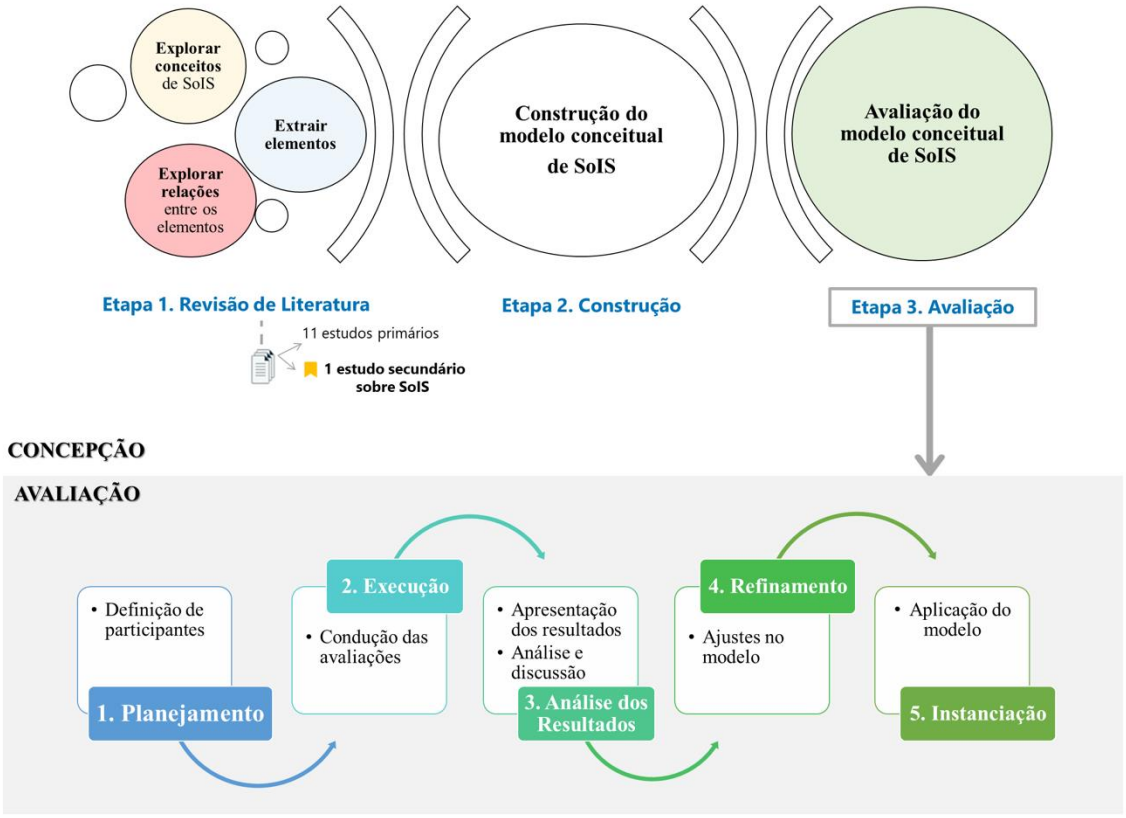


Figura 22. Método de concepção e avaliação do modelo conceitual de SoIS.

Na **etapa 1 - revisão da literatura**, buscou-se: (a) analisar os resultados obtidos nas fases 1 (Capítulo 2), 2 (Capítulo 3) e 3 (Capítulo 4) da pesquisa, como também (b) analisar de forma *ad-hoc* estudos sobre SoIS. Esses artigos foram aqueles que ficaram de fora das discussões do MSL pelas limitações descritas ou que foram publicados após a condução dos estudos anteriores (YAHIA et al., 2009; GONÇALVES et al., 2014;

SALEH e ABEL, 2015; MAJD et al., 2015; SALEH et al., 2016; SALEH e ABEL, 2016a; SALEH e ABEL, 2016b; ALI et al., 2017; GRACIANO NETO, 2017b; SALEH e ABEL, 2017; AFOUTNI et al., 2018; TEIXEIRA et al., 2019).

Elementos, conceitos e suas relações foram extraídos da literatura, dos resultados do mapeamento e da pesquisa de opinião para que o modelo fosse construído a partir de definições e características apropriadas. Nesse caso, o estudo secundário realizado por TEIXEIRA et al. (2019) identificou a seguinte definição de SoIS encontrada na literatura:

> "*Um SoIS é uma classe específica de SoS orientada a processos de negócios nos quais os sistemas constituintes incluem sistemas de informação que interoperam entre si e pertencem a diferentes organizações*".

Também nessa etapa, o modelo conceitual de uma classe de sistemas denominada SiSoS (GONÇALVES et al., 2014) foi identificado. Percebeu-se que esse modelo compreende importantes conceitos de SoS. No entanto, as relações se dão em torno do software como elemento central. Como SoIS herda as características de um SoS (GONÇALVES et al., 2014) e é uma classe formada por constituintes que são SI, o software não é somente o único elemento importante. Com base nisto, decidiu-se reutilizar SiSoS para adaptá-lo ao domínio de SoIS.

Além dos fundamentos teóricos extraídos na revisão de literatura, buscou-se utilizar o corpo de conhecimento construído com os fatores de influência (Capítulo 3) e as discussões oriundas da pesquisa de opinião com especialistas (Capítulo 4) ao longo do processo de construção do modelo. A Tabela 6 mostra o glossário com os elementos-chave utilizados no modelo conceitual e a sua respectiva rastreabilidade (coluna *fonte*).

Na **etapa 2 - construção**, realizou-se a adaptação do modelo conceitual de GONÇALVES et al. (2014). Foram identificados os conceitos e/ou características pertinentes ao contexto de SoIS que seriam mantidos. Em seguida, foram acrescentados os conceitos, elementos e características que fazem parte do domínio de SoIS, mas que não fazem parte do escopo de SiSoS. O processo de construção é detalhado em conjunto com a apresentação do modelo na Seção 5.3.

A **etapa 3 - avaliação** engloba o planejamento, a execução, a análise dos resultados, o refinamento do modelo baseado no *feedback* dos participantes e a instanciação do modelo a fim de aplicá-lo para classificar se um arranjo de sistemas é um SoIS ou não.

A partir da instanciação, um guia com os passos básicos para uma utilização inicial do modelo foi produzido e diretrizes puderam ser conjecturadas. Essa etapa é detalhada na Seção 5.4.

Tabela 6. Glossário de termos do modelo conceitual de SoIS.

Conceito-chave	Descrição	Fonte
Objetivo Principal	O objetivo a ser alcançado pelo SoIS por meio da colaboração dos SI constituintes.	(GONÇALVES et al., 2014)
Objetivo Secundário	Um conjunto de objetivos resultantes do refinamento do objetivo principal do SoIS. Também podem ser chamados de sub-objetivos.	(GONÇALVES et al., 2014)
Objetivo Individual	Um conjunto de objetivos individuais de cada SI constituinte pertencente ao arranjo.	(GONÇALVES et al., 2014)
SI Constituinte	Pode ser qualquer combinação organizada de pessoas, processos, hardware, software, comunicações, redes e recursos de dados que coletam, transformam e disseminam informações em uma organização.	(LAUDON e LAUDON, 2011)
Tipo	O SoIS abrange os sistemas do tipo SI. Para atingir o objetivo individual, o tipo de SI constituinte pode ser manual, informal, formal ou com uso intensivo de software, ou seja, qualquer sistema em que o software contribui com influências essenciais para o projeto, construção, implantação e evolução do sistema como um todo.	(ISO, 2011; O'BRIEN e MARAKAS, 2005)
Função	As funções são desempenhadas pelas organizações e envolvem processos e operações de negócios, tomada de decisão e vantagem competitiva estratégica.	(O'BRIEN e MARAKAS, 2007)
Distribuição	Os sistemas constituintes fisicamente desacoplados trocam informações entre eles através de tecnologia de rede.	(MAIER, 1996; MAIER, 1998; GRACIANO NETO et al., 2018)
Independência Operacional	Propriedade na qual o constituinte não tem sua operação direcionada exclusivamente ao objetivo da SoIS. Ou seja, ao mesmo tempo que o SI constituinte contribui ocasionalmente e sob demanda para objetivos do SoIS, mantém seus objetivos individuais sendo cumpridos também.	(MAIER, 1996; MAIER, 1998)
Independência Gerencial	Propriedade na qual um ou mais SI constituintes de um SoIS pertencem a uma empresa, grupo, organização ou pessoa/entidade.	(MAIER, 1996; MAIER, 1998)
Organização	Uma série de rotinas interligadas, padrões de ação habituais que unem as mesmas pessoas em torno das mesmas atividades no mesmo tempo e lugar.	(WESTLEY, 1990)
Processo de Negócio	Um conjunto estruturado de atividades projetadas para produzir uma saída específica para um determinado cliente ou mercado: apresenta um começo e um fim, com entradas e saídas claramente identificadas.	(DAVENPORT, 1993)
Requisito de Negócio	Uma representação de metas, objetivos e resultados que descrevem por que uma mudança foi iniciada e como o sucesso será avaliado. São atividades críticas de uma empresa que devem ser executadas para atender aos objetivos organizacionais.	(CBOK, 2009)
Funcionalidade Implementada	Comportamento ou ação com início e fim, ou seja, algo executável.	(GONÇALVES et al., 2014)
Capacidade	Competências exigidas dos constituintes no SoIS. A capacidade do SI permite que ele participe do arranjo e o habilite o comportamento emergente.	(MAIER, 1998;DOD, 2008; GONÇALVES et al., 2014)
Link de Interoperabilidade	Qualquer forma de enviar e/ou receber mensagens entre SI. Esse conceito representa mais precisamente o *link* de interoperabilidade estabelecido entre dois ou mais SI por meio do qual a interoperabilidade entre SI é efetivada.	(FERNANDES et al., 2019)
Comportamento Emergente	Fenômeno holístico que se manifesta no SoIS como resultado da interoperabilidade entre os SI constituintes que produzem um resultado global que não pode ser fornecido por nenhum deles isoladamente.	(MAIER, 1996; MAIER, 1998; GRACIANO NETO et al., 2017c)
Desenvolvimento Evolucionário	Possibilidade de funções e finalidades serem adicionadas, removidas e modificadas no SoIS conforme a experiência e necessidades de negócios.	(MAIER, 1996; MAIER, 1998)
Classificação	Um SoIS pode ser classificado em quatro categorias: virtual, colaborativa, reconhecida e dirigida.	(MAIER, 1998; DAHMANN e BALDWIN, 2008)
Stakeholder do SoIS	Um grupo de pessoas que tem um interesse mútuo nos objetivos do SoIS e pode afetar ou ser afetado por esses objetivos.	(GONÇALVES et al., 2014)
Stakeholder do SI Constituinte	Uma pessoa ou grupo de pessoas que tem interesse em uma organização e pode afetar ou ser afetada pelos objetivos do SI desta organização.	(GONÇALVES et al., 2014)

5.3. Apresentação do Modelo

Essa seção apresenta o modelo conceitual de SoIS que foi concebido com base em premissas estabelecidas na literatura especializada em conjunto com a interpretação do corpo de conhecimento adquirido ao longo das fases da pesquisa. A apresentação do modelo é feita descrevendo os detalhes do processo de construção.

Sobre o processo de construção, ao longo do texto foram usadas palavras em negrito e com letra maiúscula para indicar cada entidade presente no modelo de SoIS. As palavras em itálico e com letra maiúscula indicam entidades do modelo de SiSoS que foram removidas, editadas ou preservadas.

Como tal, todo SoIS é um SoS (TEIXEIRA et al., 2019). Logo, o modelo conceitual de SoIS consiste de uma adaptação ao modelo conceitual de SiSoS para agregar os conceitos pertinentes ao domínio de SoIS. Os conceitos pertinentes a SoIS partem da premissa que nem todo SI é intensivo em software como é o caso da subclasse SiSoS. Assim, SoIS se apresenta como uma alternativa para investigar a questão sociotécnica e a natureza de negócio do arranjo formado por um conjunto de SI. A Figura 23 ilustra o modelo conceitual de SoIS estendido do modelo SiSoS.

Vale ressaltar que o modelo exibido contempla os primeiros ajustes realizados após a avaliação. A versão do modelo e o glossário de termos da forma como foram submetidos para a avaliação estão disponíveis no Apêndice V. A versão final do modelo de SoIS após o refinamento é apresentada na Seção 5.4.5.

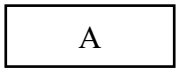
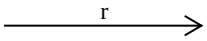
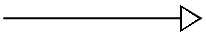
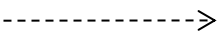
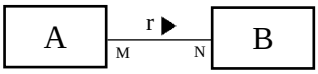
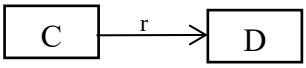
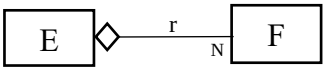
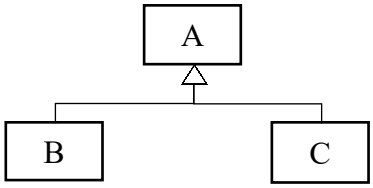
Para representar as relações entre as entidades, foi utilizada a linguagem UML (do inglês, *Unified Modelling Language*[24]). Logo, o modelo adota algumas notações da UML, tais como associação, agregação, herança e cardinalidade/multiplicidade. Para melhor compreender os símbolos utilizados, a Tabela 7 apresenta o quadro descritivo das notações. No modelo, as caixas brancas representam as entidades relacionadas diretamente aos SI, enquanto as caixas cinzas ilustram as entidades diretamente relacionadas às características de um SoIS. A caixa tracejada em laranja separa as entidades relacionadas à estrutura de um sistema contida na ISO/IEC 19501 (ISO, 2005).

Como pode ser visto na Figura 23, o modelo de SoIS é centrado em torno do conceito SI. Portanto, as entidades *Software Domínio*, *Sistema Constituinte*, *Software*, *Hardware* e *Humanos* do modelo de SiSoS (GONÇALVES et al., 2014) foram substituídas pela entidade **SI Constituinte**. Essa substituição foi realizada para se adequar às definições de LAUDON e LAUDON (2011) sobre o que é um SI. Para fins de

[24] https://www.omg.org/spec/UML/2.5.1/PDF

classificação, o modelo de SiSoS utiliza dois conceitos principais, que são representados pelas entidades *Autoridade Central* e *Nível de Consciência do SoS* (GONÇALVES et al., 2014).

Tabela 7. Quadro descritivo das notações utilizadas no modelo conceitual de SoIS.

Símbolo utilizado no modelo	Descrição
	A letra *A* representa um elemento do modelo conceitual que também é tido como uma Entidade.
	O símbolo da linha representa o relacionamento entre elementos, a letra *r* representa o nome do relacionamento e a seta representa a direção do relacionamento.
	Esta seta representa relações abstratas que caracterizam o contexto de SoIS.
	Esta seta representa uma herança.
	Esta seta tracejada representa uma relação de dependência que existe entre as duas entidades.
	As letras *M* e *N* representam o número de valores que podem estar envolvidos em uma determinada relação. O elemento *A* se relaciona (*r)* com *N* valores do elemento *B*, ao passo que o elemento *B* se relaciona com *M* valores do elemento *A*.
	O elemento *C* expressa uma relação *r* com *N* valores do elemento *D*.
	O elemento *E* é formado de *N* valores do elemento *F*. Essa relação expressa uma agregação porque *F* existe independentemente de *E.*
	Os elementos *B* e *C* são subtipos do elemento *A* e consequentemente herdam as características de *A*. No entanto, *B* e *C* possuem características particulares.

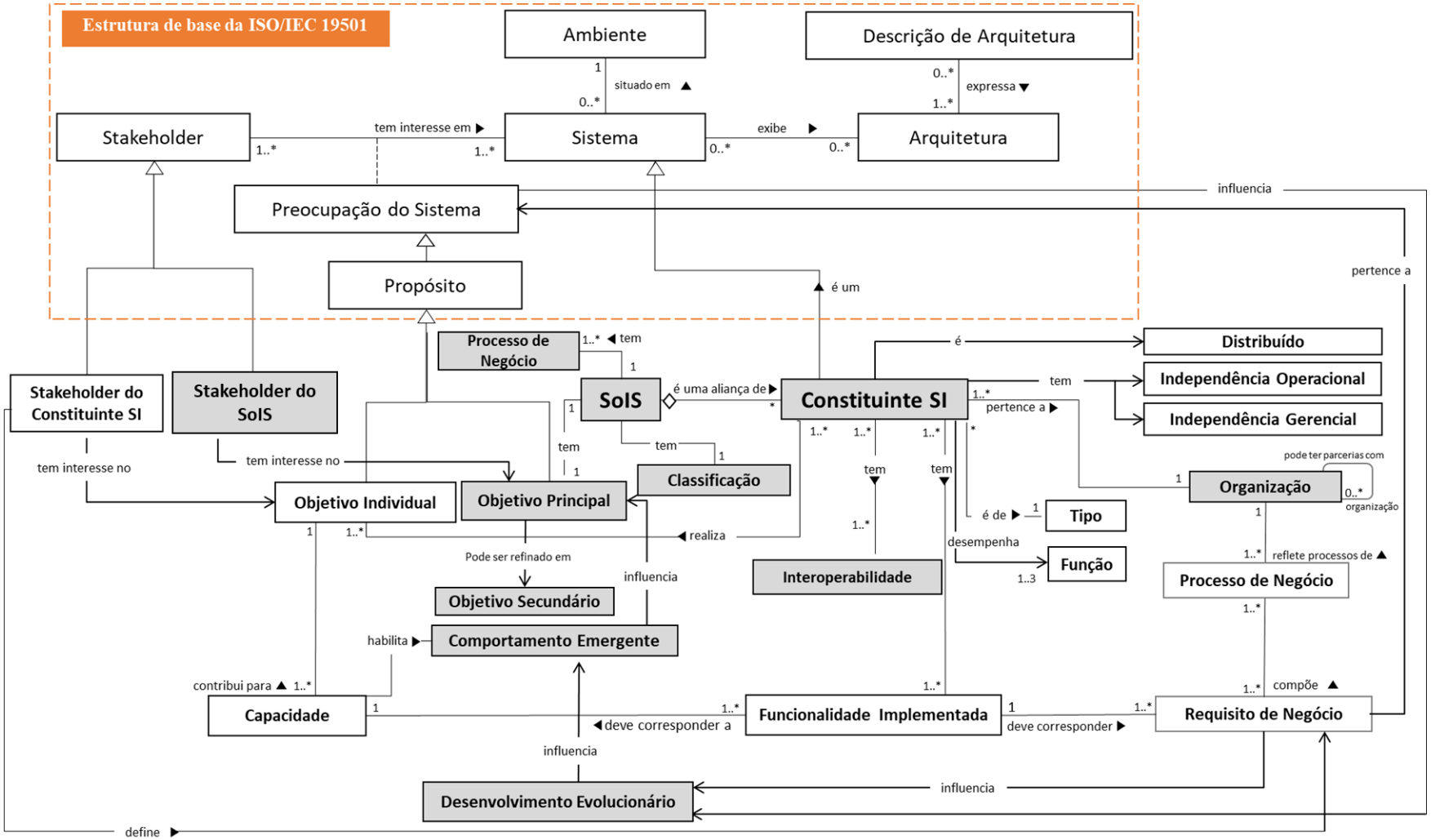


Figura 23. Modelo conceitual de SoIS traduzido de FERNANDES et al. (2019).

No caso de SoIS, a aliança em torno dos SI é geralmente estabelecida entre organizações que cedem um SI ou vários constituintes para contribuírem para uma perspectiva colaborativa. Como tal, uma autoridade central pode ser estabelecida entre essas organizações dependendo do tipo de formação do SoIS. O tipo de topologia de um SoIS segue parte da classificação tipológica estabelecida em SoS, conforme discutido na Seção 2.1 (Direcionado ou Reconhecido) (MAIER, 1998; DAHMANN e BALDWIN, 2008). Portanto, a entidade **Classificação** foi inserida, evitando que os conceitos de SiSoS representados pelas entidades que mostram as quatro classificações de arranjos de SoS se mantivessem.

Em relação à modelagem das metas, há a necessidade de identificação de propósitos globais e de compreensão sobre como os SI constituintes podem ser agregados ao arranjo para alcançar os objetivos do SoIS (SILVA et al., 2015). Para isso, ao menos um **Processo de Negócio** deve ser modelado para apoiar a formação do SoIS (GRACIANO NETO et al., 2017c).

No arranjo de SiSoS, metas ou propósitos destinados a serem cumpridos são denominadas de missões (GONÇALVES et al., 2014). Embora "missão" seja um termo próximo tanto do domínio de negócio como militar (DAHMANN e BALDWIN, 2008), as entidades *Missão Individual* e *Missão Global* presentes no modelo de SiSoS foram substituídas por **Objetivo Individual** e **Objetivo Principal**, respectivamente. A substituição foi motivada pelo fato dos termos serem mais representativos para domínios de negócios, conforme se observou nas discussões dos estudos de mapeamento sistemático. Por sua vez, o objetivo principal pode ser refinado em um ou mais **Objetivos Secundários** para que o objetivo da formação de um SoIS possa ser alcançado.

SoIS compartilha pontos em comum com SoS por herdar suas características, por exemplo, os SI constituintes devem preservar sua independência operacional e gerencial para atingir seus objetivos individuais. Ao mesmo tempo, os objetivos do SoIS podem ser realizados como um esforço da interoperabilidade (voluntária ou não) entre os SI constituintes. Nesse caso, as entidades **Independência Operacional** e **Independência Geral** contidas no modelo de SiSoS se mantiveram presentes no modelo para SoIS. A distribuição também foi mantida porque os SI dependem de alguma rede para estabelecer comunicação e trocar informações. Essa característica é representada pela entidade **Distribuição.** A característica representada pela entidade **Comportamento Emergente** é preservada porque um SoIS é um arranjo que, por definição, mostra emergência por meio de comportamentos planejados (OTTINO, 2004).

A entidade de *Cooperação* presente do modelo de SiSoS foi removida pois o conceito é considerado semelhante à ideia representada por meio da entidade ***Link* de Interoperabilidade**. Em SoIS, a interoperabilidade é entendida por um ou mais *links* de interoperabilidade que permitem a conectividade ou cooperação entre os SI do arranjo. Essa conectividade entre SI constituintes se dá por autorrelacionamento (pelo menos um ou vários outros). Esse *link* de interoperabilidade pode ser estabelecido para prover interoperabilidade em alguma **Dimensão** (legal, interorganizacional/intraorganizacional, pragmática, semântica, sintática ou técnica). O *link* de interoperabilidade é de um tipo, e.g., API, requisição por meio de passagem de parâmetros via URL e método GET, transferência de dados via arquivo XML etc. A entidade **Tipo de *Link*** representa essa conceituação no modelo.

Para viabilizar análises holísticas acerca dos tipos de *link* de interoperabilidade que são formados para o arranjo de SoIS, um tipo de link deve definir pelo menos uma **Caracterização**. Essa entidade deve representar indicadores e/ou descrições acerca de como esse tipo de *link* deve ser estabelecido no SoIS em questão. Para exemplificar essa caracterização, caso o tipo de *link* seja transferência de dados via arquivo XML, espera-se que sejam fornecidas informações descritivas, tais como endereço do servidor SMTP (do inglês, *Simple Mail Transfer Protocol*), conta utilizada para o recebimento e a respectiva senha, configurações do POP3 etc. Por meio da caracterização do tipo de *link*, pode-se analisar que fatores de influenciam a interoperabilidade no cenário do SoIS. Uma caracterização pode estar relacionada a pelo menos um **Fator de Influência**, ou a vários fatores. Retomando o exemplo de caracterização mencionado para o tipo de *link* transferência de dados via arquivo XML, pode-se atribuir a ele fatores de influência técnicos (e.g., FI-2: fornecimento de informações técnicas dos elementos de TI envolvidos) e organizacionais (e.g., FI-10: capacidade de visualização de recursos).

Por sua vez, a entidade **Desenvolvimento Evolucionário** também é mantida no modelo proposto por essa característica ser influenciada pela autonomia dos SI. Pelo fato dos SI constituintes pertencerem a diferentes organizações, estão sujeitos a contínuas alterações que atendam a novos requisitos de negócios. Consequentemente, o desenvolvimento evolutivo influencia o comportamento emergente do SoIS.

As entidades relativas ao **Stakeholder do SoIS** e **Stakeholder do SI Constituinte** representam *stakeholders* do SoIS e SI constituintes, respectivamente. Estas entidades podem representar pessoas, empresas e/ou governos. Em SiSoS, *stakeholders* aparecem como *Partes Interessadas no Sistema Constituinte* e *Partes Interessadas no SoS* (GONÇALVES et al., 2014).

Como descrito anteriormente, SoIS possui ao menos um processo de negócio que oriente sua operação. No entanto, cada SI de um SoIS pode possuir seu próprio processo de negócio definido pela organização detentora. Logo, no modelo de SoIS, a entidade **Processo de Negócio** (caixa cinza) representa esse elemento. Um SI que pertence a alguma **Organização** possui pelo menos uma **Funcionalidade Implementada** que deve corresponder a **Requisitos de Negócios** que refletem a **Capacidade** deste SI. O modelo ilustra que uma capacidade deve corresponder a uma ou mais funcionalidades implementadas. É por meio dessas funcionalidades que um SI pode oferecer recursos para um SoIS. Além disso, conjectura-se que os requisitos de negócios que guiam o desenvolvimento de funcionalidades de um SI fazem parte de pelo menos um processo de negócio. Por sua vez, processos de negócio refletem um ou mais processos de uma organização a qual o SI pertence. A capacidade de um SI habilita o comportamento emergente cujos efeitos podem influenciar o gerente do SoIS a rever o objetivo principal (e secundários) do arranjo. Isso acontece porque, caso haja mudanças nas funcionalidades dos SI, a capacidade deste constituinte pode ser alterada.

Os conceitos mencionados e representados no modelo de SoIS materializam a forte diferença entre os conceitos que compõem o modelo de SiSoS. A modelagem concebida para o domínio de SoIS exibe os elementos inerentes à natureza de negócio que não são comumente abordados no contexto de SoS. Por exemplo, a fim de caracterizar um SI constituinte, duas entidades foram adicionadas: **Tipo** e **Função**. *Stakeholders* fazem uso de tipos de SI, tais como: manual (papel e lápis), informal (comunicação boca a boca), formal (procedimentos escritos) e baseados em computador (intensivos em software) (O'BRIEN e MARAKAS, 2007). Por essa razão, a entidade Tipo foi adicionada. Por sua vez, pelo fato de um SI pertencer a uma organização para apoiar processos organizacionais, um constituinte desempenha funções como (1) apoio a processos de negócios e operações, (2) tomada de decisões ou (3) apoio à vantagem competitiva estratégica (O'BRIEN e MARAKAS, 2007). Assim, a entidade Função foi adicionada.

A estrutura base da ISO/IEC 19501 (ISO, 2005) que descreve os elementos em torno de sistemas foi mantida. Como um SI constituinte é um **Sistema**, essa entidade e todas as respectivas relações foram mantidas. Logo, o SI herda características de um sistema que faz parte de um ambiente (contexto organizacional) e exibe ou não alguma **Arquitetura** claramente descrita (**Descrição de Arquitetura**). Tanto os objetivos individuais de um SI constituinte como o objetivo principal do SoIS herdam características do **Propósito** de um sistema que agrega em torno de si preocupações (**Preocupação do Sistema**). Preocupações em torno de um requerem atenção especial

dos *stakeholders* que estão representados no modelo base da ISO/IEC 19501(ISO, 2005) como a entidade **Stakeholder**.

5.4. Avaliação

A avaliação do modelo conceitual de SoIS foi conduzida com o intuito de verificar se ele contém os elementos relevantes para caracterizar este domínio. O objetivo da avaliação foi formalizado com base na estrutura GQM (BASILI, 1992): **analisar** o modelo conceitual **com o propósito de** verificar **com respeito a suas** características e elementos **do ponto de vista de** pesquisadores e estudantes **no contexto de** SoIS. Esta seção detalha todas as atividades realizadas.

5.4.1. Planejamento

Na atividade de planejamento, foram estabelecidos e definidos dois grupos de participantes para fazerem parte da avaliação. O primeiro é formado por estudantes de graduação e de pós-graduação (mestrado e doutorado em Informática) que participam do grupo de pesquisa do Laboratório de Engenharia de Sistemas Complexos da UNIRIO (LabESC). O segundo grupo é formado por participantes do minicurso intitulado "*Descrição arquitetônica de Sistemas-de-Sistemas de Informação"* realizado no XV Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI 2019)[25].

Na etapa de planejamento, elaborou-se o instrumento de avaliação (questionário) e o termo de consentimento livre esclarecido. O questionário foi elaborado utilizando a ferramenta *Google Forms*[26], no qual a primeira seção consiste no termo de consentimento livre esclarecido. A segunda seção contém as questões sobre o perfil acadêmico e profissional e familiaridade do participante com o tema (SoIS) e a terceira seção apresenta a descrição do modelo. A quarta e última seção contém as perguntas referentes à avaliação do modelo (16 questões fechadas e 9 questões abertas). A quarta seção do questionário inicia a avaliação com um texto que permite a leitura por extenso do modelo e em seguida traz o questionário. As questões fechadas do questionário seguem a escala *Likert* de quatro níveis para instigar o participante a uma escolha positiva/negativa, ou seja, a opção do tipo "nem discordo e nem concordo" foi tirada.

O questionário utiliza as respostas de uma (1) questão fechada com os itens "discordo totalmente" (0), "discordo" (1), "concordo (2)" e "concordo totalmente" (3). O

[25] https://portal.unit.br/sbsi/
[26] https://www.google.com/forms/about/

questionário utiliza outras dez (10) questões fechadas com os itens "não pertinente" (0), "parece pertinente" (1), "é pertinente" (2) e "é um conceito essencial" (3). Por fim, para outras cinco (5) questões fechadas, os participantes são instigados a escolher uma resposta dentre as opções "sim", "parcialmente" e "não". O questionário[27] se encontra disponível junto ao termo de consentimento livre esclarecido no Apêndice V.

O piloto do questionário foi realizado presencialmente com um especialista da área de SoS/SoIS para avaliar a estrutura do instrumento. O piloto teve a duração de 31 minutos e o especialista sugeriu ajustes quanto a conceitos, características e relacionamentos em torno dos elementos, que não estavam bem expressos. Após a realização dos ajustes no instrumento, partiu-se para a atividade de execução.

5.4.2. Execução

A avaliação do modelo ocorreu no período de maio a junho de 2019 com os dois grupos de participantes citados anteriormente. A primeira avaliação ocorreu presencialmente no dia 20 de maio de 2019 e contou com a participação de cinco (5) participantes do minicurso do SBSI 2019 e um instrutor responsável por orientá-los durante a execução da avaliação.

A segunda avaliação ocorreu *online* no período de 20 de maio a 10 de junho de 2019 e contou com a participação de onze (11) membros do grupo de pesquisa do LabESC. É importante ressaltar que não houve alteração no modelo durante as avaliações, sendo a mesma versão aplicada nos dois grupos.

5.4.3. Resultados

Após a execução, os dados foram organizados e analisados. Para os fins deste estudo, foram analisadas a **completude** e **relevância** dos elementos, a **utilidade** do modelo, a **consistência** e a **adequabilidade** dos conceitos e relações modeladas. Os resultados são apresentados para cada um dos dois grupos de participantes.

1º grupo – participantes do minicurso "*Descrição arquitetônica de Sistemas-de-Sistemas de Informação*" do SBSI'2019: três participantes disseram ter tido o primeiro contato com os conceitos que envolvem o tema durante o minicurso, um participante afirmou ter uma noção básica dos conceitos e um participante respondeu que tem uma noção dos conceitos, mas ainda está se aprofundando no tema SoIS. A Figura 24 apresenta os dados das informações sobre o perfil acadêmico e profissional dos participantes, bem como a familiaridade com o tema.

[27] http://bit.ly/Survey_modelSoIS

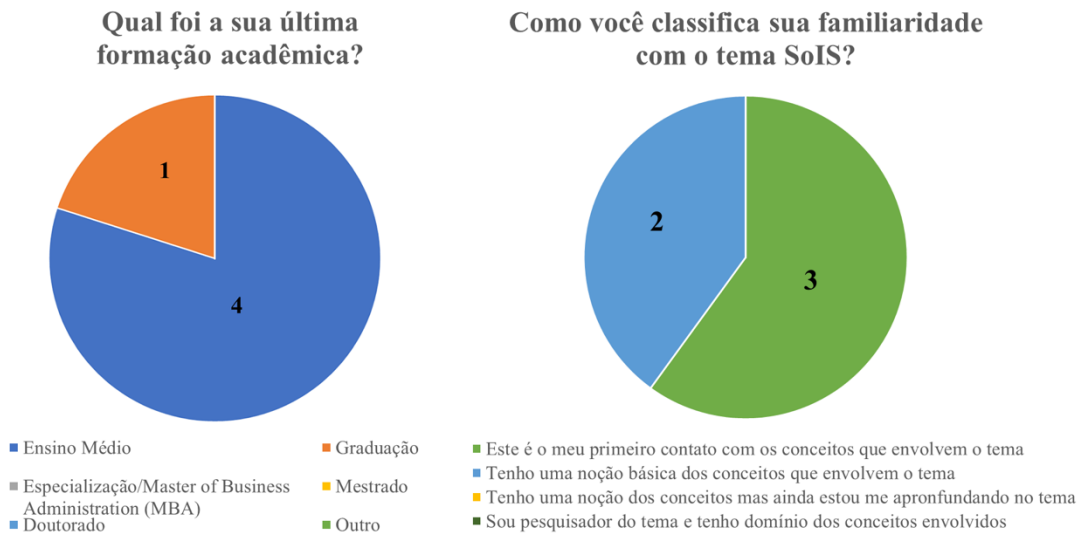


Figura 24. Gráficos do perfil dos avaliadores do Grupo 1.

Quanto à leitura por extenso do modelo, a concordância em relação à caracterização apresentada foi bem avaliada pelos participantes. Dos cinco participantes, dois concordaram parcialmente e três concordaram totalmente com a caracterização. Nenhum dos participantes deixou algum comentário, sugestão ou exemplo(s) no campo aberto.

Quando à **completude**, os participantes foram perguntados sobre o modelo conter todos os elementos que caracterizam um SoIS. Ao todo, quatro participantes marcaram "sim" e apenas um participante marcou "parcialmente". O participante que respondeu "parcialmente" comentou que:

> "*A demonstração é completa, porém pontos chave bem específicos poderiam ser enfatizados*". [Participante 05]

Em relação à **relevância** dos elementos contidos no modelo conceitual, houve consenso entre os cinco participantes, que responderam "sim" para essa questão. Quanto à **utilidade** do modelo, apenas um participante dentre os cinco respondeu "parcialmente". Esse participante deixou o seguinte comentário:

> "*É bastante útil, mas seria bom se houvesse uma maneira mais fácil para demonstrar a notação, apesar de completo, para uma pessoa leiga pode ficar confuso*". [Participante 03]

Nenhum participante indicou uma aplicação pela qual o modelo seria útil. A **consistência** dos elementos foi bem avaliada entre os cinco participantes. Todos responderam "sim" para essa questão e nenhum deles deixou comentários no campo aberto. Além disso, os participantes foram perguntados ***se a utilização do modelo auxilia uma pessoa a ser capaz de classificar um arranjo de sistemas como sendo um SoIS***.

Apenas um participante entre os cinco respondeu “parcialmente”, enquanto os demais responderam que “sim”.

Quanto ao quesito de **adequabilidade**, foram avaliados os conceitos e a(s) sua(s) relação(ões) no modelo conceitual. Os conceitos avaliados são sumarizados na Tabela 8.

Tabela 8. Conceitos avaliados no quesito adequabilidade.

Código	Conceito e relação
C1	SoIS é uma aliança de várias organizações que disponibilizam um ou vários SI constituintes para um SoIS.
C2	SoIS tem um objetivo principal que pode ser refinado ou decomposto em um ou vários objetivos secundários.
C3	O constituinte em um SoIS pode estar distribuído geograficamente ou não. No entanto, ele deve ter independência gerencial e operacional.
C4	Um SI constituinte realiza um ou vários objetivos individuais para as partes interessadas. O que viabiliza a realização destes objetivos individuais são as funcionalidades implementadas deste SI.
C5	Cada funcionalidade deve corresponder a um ou vários requisitos de negócio que compõe um ou vários processos de negócio da organização.
C6	Em SoIS, o SI constituinte tem uma ou mais conectividades que, por sua vez, pode envolver um ou vários SI constituintes. Essas conexões são possíveis por meio de *links* de interoperabilidade estabelecidos entre eles.
C7	A interoperabilidade originada permite a entrega de um resultado global que não pode ser fornecido por nenhum destes constituintes isoladamente e, consequentemente, reflete o comportamento emergente do SoIS.
C8	Funções podem ser adicionadas, removidas ou modificadas conforme a necessidade de uma organização em particular. Isto faz com que o desenvolvimento evolucionário seja uma característica inerente a SoIS.
C9	Requisitos de negócios mapeados em SI constituintes deste arranjo influenciam diretamente o comportamento emergente do SoIS.
C10	SoIS tem uma classificação (virtual, colaborativa, direcionada ou reconhecida). A classificação pode influenciar a maneira como as partes interessadas no SoIS devem reunir esforços para melhor gerenciar alianças entre organizações.

Para C1, apenas um participante respondeu que o conceito “parece pertinente”, enquanto os outros quatro consideraram que “é um conceito essencial”. Na avaliação de C2, um participante respondeu que o conceito “parece pertinente”, dois participantes

consideraram que o conceito “é pertinente” e outros dois consideraram que “é um conceito essencial”. Para C3, dois participantes responderam que “é um conceito essencial” enquanto para dois participantes “é pertinente”. Um participante respondeu que esse conceito é “não pertinente”.

Na avaliação do C4, três participantes consideraram que o conceito “é pertinente”, um participante considerou que “é um conceito essencial” e um outro participante respondeu que “parece pertinente”. A avaliação do C5 mostrou que apenas um participante respondeu que o conceito “parece pertinente”, enquanto dois consideraram que “é um conceito essencial” e outros dois participantes consideraram que “é pertinente”. Por sua vez, C6 foi bem avaliado entre quatro participantes desse grupo que consideraram que “é um conceito essencial”. Apenas um participante respondeu que “parece pertinente”. Para C7, um participante respondeu que o conceito “parece pertinente”, outro respondeu que “é um conceito essencial” e três participantes responderam que o conceito “é pertinente”.

C8 recebeu a avaliação de um participante como sendo um conceito “não pertinente”, um participante que considerou que o conceito “é pertinente” e três participantes que consideraram que “é um conceito essencial”. Para C9, apenas um participante respondeu que o conceito “parece pertinente”, enquanto dois participantes consideraram que “é pertinente” e outros dois consideraram que “é um conceito essencial”. C10 foi bem avaliado entre os cinco participantes que responderam que “é um conceito essencial”. Os participantes não escreveram comentários em relação às proposições que avaliaram a adequabilidade dos conceitos e relações.

Quanto às questões discursivas, em relação à pergunta “*Você acredita que esta forma de avaliação do modelo foi a mais adequada? Em caso negativo, você poderia nos prover sugestões para melhorarmos a estratégia?*”, não houve comentários que discordassem da forma como o modelo foi avaliado. Com relação a comentários gerais deixados, o Participante 03 sugeriu trocar o termo da avaliação “parece pertinente” por “relativamente pertinente”. A mudança não foi acatada porque não se tratava da execução de um piloto e o formulário estava disponível *online* para o 2º grupo de avaliadores na ocasião.

> “*É bom, mas o "parece pertinente" é muito "eu não sei" eu trocaria por "relativamente pertinente" ou algo assim*”. [Participante 03]

Por sua vez, o Participante 05 sugeriu que, na descrição do C8, ficasse clara a possibilidade de um efeito negativo decorrente do fato de funções dos SI constituintes

poderem ser adicionadas, removidas ou modificadas. Buscou-se atender à esta sugestão durante o processo de refinamento que é apresentado na Seção 5.4.5.

> "*No quesito: "[...] Funções podem ser modificadas [...]" deixar claro o fato de possibilidade de um efeito negativo*". [Participante 05]

2º grupo - membros do LabESC: apenas um participante disse ter tido o primeiro contato com os conceitos que envolvem o tema durante a avaliação e cinco participantes afirmaram ter uma noção básica dos conceitos. Outros cinco participantes responderam que tem uma noção dos conceitos, mas ainda estão se aprofundando no tema SoIS. A Figura 25 apresenta os dados das informações sobre o perfil acadêmico e profissional dos participantes e a familiaridade com o tema.

Quanto à leitura por extenso do modelo, a concordância em relação à caracterização apresentada também foi bem avaliada pelos participantes. Dos onze avaliadores, oito concordaram parcialmente e três concordaram totalmente com a caracterização. Em relação à **completude**, oito participantes marcaram "sim" e três marcaram "parcialmente". Seguem citações deixadas por dois avaliadores que responderam "sim":

> "*Apresenta os elementos que por base são necessários para a caracterização desejada*". [Participante 02]

> "*Como não tenho o domínio do tema, não sei dizer se contém todos os elementos. Mas pelo texto, parece que sim*". [Participante 08]

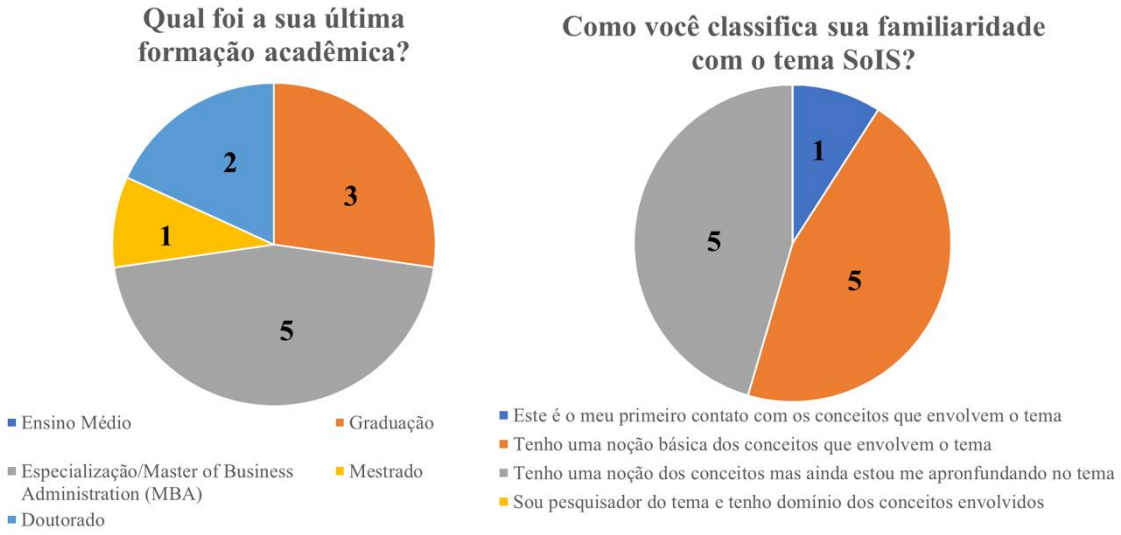


Figura 25. Gráficos do perfil dos avaliadores do Grupo 2.

Em relação à **relevância**, oito avaliadores responderam "sim" para essa questão, ao passo que três avaliadores responderam "parcialmente". Seguem citações deixadas por dois participantes que responderam "sim":

> "*Permitem o entendimento com maior clareza e efetividade*". [Participante 02]
>
> "*Como não tenho o domínio do tema, não sei dizer se todos são relevantes. Mas pelo texto, parece que sim*". [Participante 08]

Quanto à **utilidade** do modelo, houve consenso entre os onze participantes pois todos responderam "sim". Um participante deixou a seguinte citação em relação à utilidade do modelo:

> "*Apoia o entendimento e melhor compreensão de forma prática*". [Participante 02]

Também houve consenso em relação à **consistência** dos elementos do modelo entre os onze avaliadores. Todos responderam "sim" para essa questão e alguns avaliadores deixaram comentários no campo aberto, que ajudaram na etapa de refinamento do modelo. Uma das citações deixadas pelos participantes foi:

> "*Pois contempla os elementos necessários para a caracterização e entendimento para aplicação*". [Participante 02]

Quando perguntado se o avaliador seria capaz de classificar um sistema como sendo um SoIS por meio do modelo, todos os participantes responderam "sim". Um deles escreveu o seguinte comentário:

> "*Seguindo as orientações do modelo sou capaz*". [Participante 02]

Quanto ao quesito de **adequabilidade**, o grupo 2 também avaliou cada conceito e sua relação (Tabela 8). Para C1, apenas um avaliador respondeu que o conceito "parece pertinente", enquanto cinco participantes informaram que o conceito "é pertinente" e seis participantes indicaram que "é um conceito essencial". Sobre C2, um participante respondeu que o conceito "parece pertinente", três respondentes consideraram que o conceito "é pertinente" e sete avaliadores consideraram que "é um conceito essencial".

Para C3, quatro participantes responderam que o conceito "é pertinente" e sete avaliadores responderam que "é um conceito essencial". Na avaliação de C4, apenas um participante considerou que o conceito "parece pertinente", enquanto cinco participantes avaliaram que o conceito "é pertinente". Apenas três participantes consideraram que "é um conceito essencial".

A avaliação de C5 mostrou que apenas um avaliador respondeu que o conceito "parece pertinente", enquanto seis avaliadores consideraram que "é um conceito essencial" e quatro participantes consideraram que "é pertinente". Por sua vez, C6 foi considerado "não pertinente" para um avaliador, três avaliadores desse grupo

consideraram que o conceito “parece pertinente” e seis avaliadores marcaram que “é um conceito essencial”. C7 foi considerado “não pertinente” para um avaliador, quatro avaliadores responderam que o conceito “é pertinente” e seis avaliadores responderam que “é um conceito essencial”.

C8 recebeu a avaliação de dois participantes como sendo um conceito que “parece pertinente”, cinco participantes avaliaram que o conceito “é pertinente” e quatro respondentes consideraram que “é um conceito essencial”. Para C9, apenas um avaliador respondeu que o conceito “parece pertinente”, enquanto cinco consideraram que o conceito “é pertinente” e outros cinco avaliadores consideraram que “é um conceito essencial”. C10 foi avaliado por dois participantes como sendo conceito que “parece pertinente”, dois participantes responderam que “é pertinente” e sete responderam que “é um conceito essencial”. Quatro participantes escreveram comentários pertinentes às proposições que avaliaram a adequabilidade dos conceitos e relações que foram usados no refinamento do modelo.

Quanto às questões discursivas, em relação à pergunta “*Você acredita que esta forma de avaliação do modelo foi a mais adequada? Em caso negativo, você poderia nos prover sugestões para melhorarmos a estratégia?”*, não houve comentários que enfatizassem uma discordância em relação à forma como o modelo foi avaliado. O Participante 05 deixou o seguinte comentário:

> “*Sim. A avaliação escolhida foi adequada. Talvez uma ou mais instâncias do modelo com um exemplo conceitual poderão auxiliar na avaliação de usabilidade*”. [Participante 05]

Com relação a comentários gerais deixados, dois participantes comentaram sobre um ponto importante a ser considerado em futuras avaliações. As críticas dizem respeito a dividir a avaliação em etapas diferentes. O Participante 01, por exemplo, comentou que a avaliação deveria acontecer em três momentos. No primeiro momento, ele indicou que fosse avaliado apenas a forma do modelo, ou seja, elementos e suas relações. No segundo momento, que fossem avaliados aspectos de adequação e utilidade, e, por fim, no terceiro momento, aconteceriam as entrevistas com especialistas em SoIS.

> “*Acredito que* ***os pesquisadores poderiam ter trabalhado primeiro na forma****, para* ***depois analisar aspectos de adequação e utilidade****. O modelo baseado em UML que não foi feita pra descrever visão de negócios, precisa ser aprimorado primeiramente em relação a forma: notação utilizada, elementos que fazem parte, relações e etc.* ***Em outra parte, acredito que um conjunto de entrevistas com especialistas pode ser útil*** *e*

> *como, última parte,* ***analisar um conjunto de SoIS a partir do modelo****. Um para cada classificação*". [Participante 01]

O Participante 05 também comentou algo semelhante ao sugerir que a avaliação acontecesse em momentos diferentes. A sugestão desse participante foi avaliar primeiro as relações essenciais e depois as relações abstratas.

> *"Nos próximos estudos, eu* ***sugiro "quebrar" o modelo em partes para avaliação****. Há muitas relações e há a necessidade de olhar com atenção cada relação do modelo, levando a utilizar mais tempo do que foi definido pelos pesquisadores no início do survey. Adicionalmente, acredito que seria mais produtivo ao quebrar o modelo para avaliação mais detalhada. Por exemplo,* ***somente relações essenciais em um primeiro momento****,* ***depois somente relações abstratas****... o modelo é muito interessante, mas* ***é preciso diminuir os elementos da avaliação para que seja mais efetiva***". [Participante 11]

De fato, as sugestões são pertinentes e expõem a necessidade de, em trabalhos futuros, avaliar o modelo refinado em momentos diferentes. Ambos os participantes acreditam que dessa forma a avaliação tende a ser mais efetiva e pontual. Outra crítica reportada ao modelo de SoIS se referia ao fato de ser pouco atrativo. Porém, o participante não deixou por escrito algum exemplo de como atender essa demanda:

> "*Acredito ser adequado, mas o modelo poderia ser mais atrativo*". [Participante 08]

5.4.4. Discussão dos Resultados

Por meio da análise dos resultados, foi possível perceber que, nos dois grupos, a leitura por extenso do modelo foi muito bem avaliada, ou seja, em geral houve uma concordância em relação à caracterização apresentada. Sobre isso, é importante ressaltar que os participantes membros do LabESC (Grupo 2) escreveram comentários que não se relacionavam somente ao texto por extenso, estendendo os comentários às relações. Isso pode estar relacionado ao maior grau de formação acadêmica destes participantes (se comparado com o Grupo 1) ou experiência nesse tipo de avaliação. Nesse caso, o Grupo 2 apresentou maior habilidade em formular sugestões. Outro fator que pode justificar o maior número de comentários por parte desse grupo é o fato dos participantes terem noção dos conceitos. Isso ajuda a refinar a caracterização de um domínio. No caso do Grupo 1, dos cinco participantes, somente um concluiu a graduação, o que pode expressar falta de

maturidade para avaliações desse tipo. A Figura 26 exibe o resultado da leitura por extenso do modelo para cada um dos grupos.

O quesito **completude** foi bem avaliado, ou seja, a maioria dos participantes considerou o modelo completo e exaustivo. Porém, um participante comentou sobre o fato do modelo apresentar um nível muito abstrato, apesar de conter informações relevantes e uma estrutura consistente. Em relação a isto, vale ressaltar que o papel do modelo conceitual é auxiliar na caracterização de um domínio, mesmo que envolva elementos mais abstratos. Por elementos abstratos, podemos entender entidades que não são passíveis de serem implementadas por meio de alguma linguagem de programação, por representarem apenas ideias conceituais não tangíveis no mundo real.

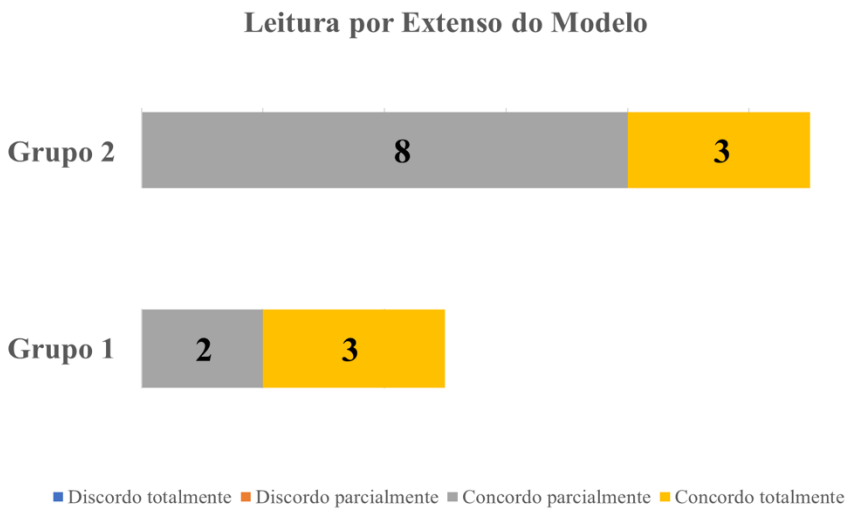


Figura 26. Gráficos da leitura por extenso em cada um dos grupos.

Outro ponto destacado por um dos participantes que considerou o modelo "parcialmente completo" foi a necessidade de trazer refinamentos a partir da análise de vários cenários reais de SoIS. De fato, o modelo precisa ser melhorado nesse quesito. No entanto, como se trata de um tema emergente, houve dificuldade em modelar vários cenários reais que representassem um SoIS até a execução da avaliação.

No quesito **relevância** dos elementos, os resultados mostraram que a maioria dos participantes considerou que o modelo contempla os elementos importantes. Entretanto, observou-se que os participantes que não têm domínio sobre o tema SoIS tendem a não se considerarem aptos a reconhecer que elementos importantes não estão contemplados.

A **utilidade** do modelo foi percebida pelos dois grupos, sobretudo no Grupo 2 cuja maioria dos participantes tem noção dos conceitos e estão buscando se aprofundar no tema. Isso representou um resultado positivo. A **consistência** foi bem avaliada pelos participantes dos dois grupos que foram unânimes ao considerar que o modelo é coerente com a caracterização apresentada. A Figura 27 exibe os resultados dos quesitos discutidos

(completude, relevância, utilidade e consistência) por meio de gráficos de cada grupo de participantes.

Para o quesito **adequabilidade**, foram avaliados dez conceitos e suas relações. No geral, os conceitos se mostraram adequados para os avaliadores dos dois grupos. A Figura 28 apresenta o gráfico sobre a adequabilidade conforme o Grupo 1, ao passo que a Figura 29 apresenta o gráfico com a avaliação do Grupo 2.

Comentários relacionados à **completude** permitiram perceber que o modelo está completo em relação aos elementos, mas necessita de melhorias quanto às relações modeladas. Um exemplo disso foi a necessidade de rever a relação do *Stakeholder do SoIS* que, da maneira como foi apresentada, ficou restrita somente aos SI constituintes. Isso foi um comentário pertinente porque, de fato, um *stakeholder* do SoIS pode ser um ator humano que não está diretamente vinculado a um SI constituinte do arranjo, mas enxerga o potencial de formação do arranjo. Além disso, este ator poderá se engajar para reunir os meios que viabilizem uma aliança.

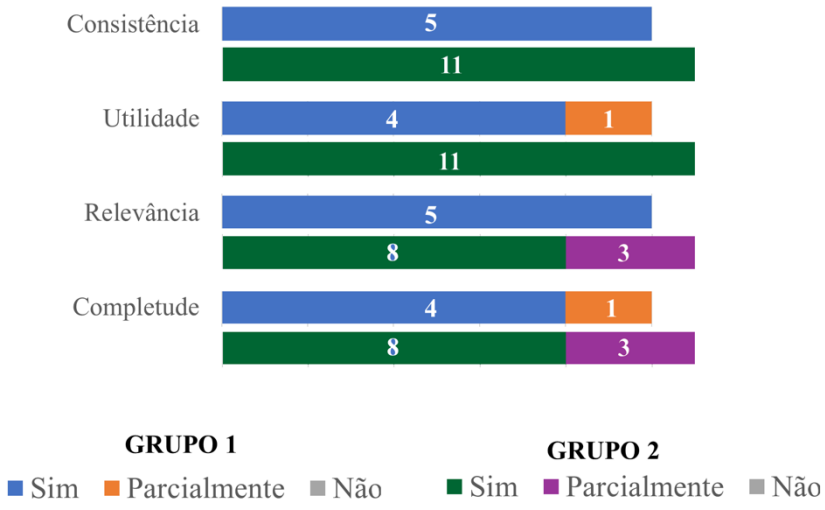


Figura 27. Gráficos de completude, relevância, utilidade e consistência do modelo.

Os comentários, críticas e sugestões relacionados à **utilidade** permitiram perceber a necessidade de trabalhar com mais cores do que as utilizadas no modelo submetido à avaliação. Por exemplo, diferenciar as cores de entidades mais abstratas daquelas que podem ser instanciáveis em um programa de software. O modelo também foi considerado **consistente**, o que pode ter levado os participantes dos grupos a avaliarem positivamente o modelo quanto à **adequabilidade**.

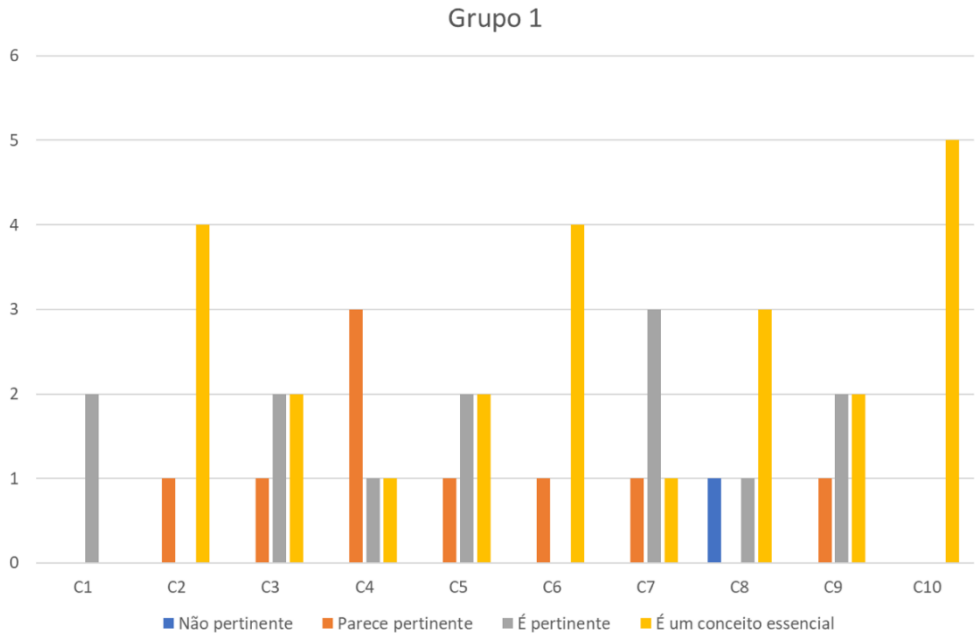


Figura 28. Gráfico sobre a adequabilidade dos conceitos e relações (Grupo 1).

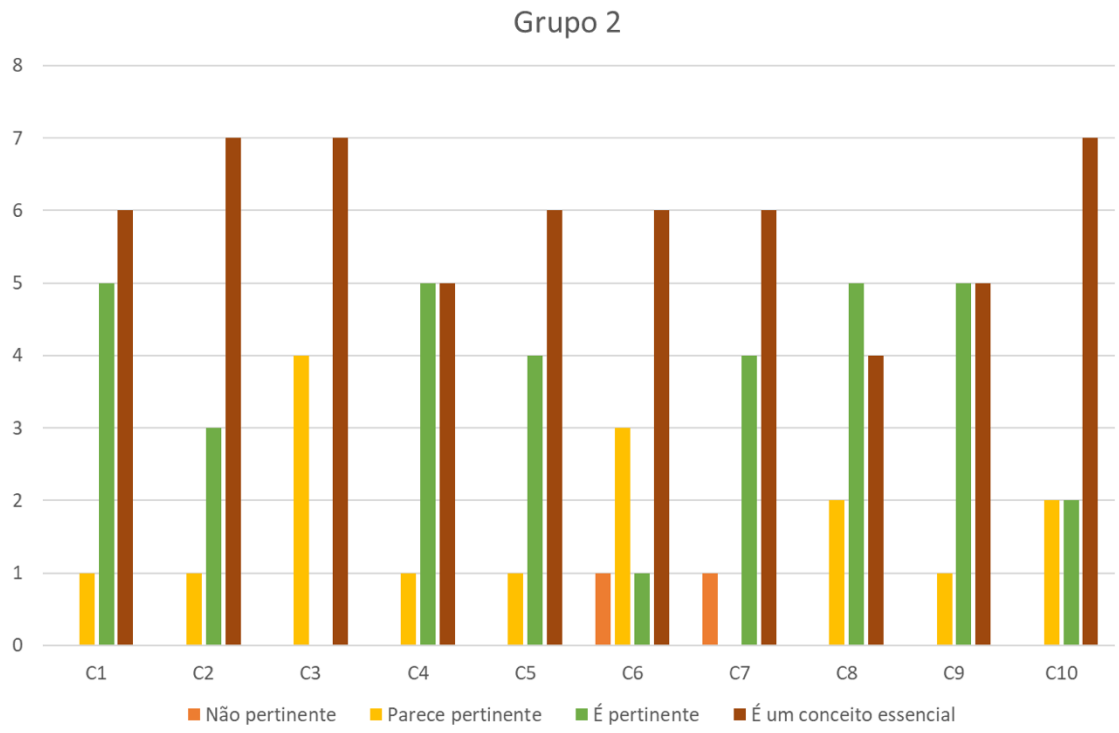


Figura 29. Gráfico sobre a adequabilidade dos conceitos e relações (Grupo 2).

Em geral, foram os avaliadores do Grupo 2 que mais deixaram comentários, críticas e sugestões nos campos abertos que permitiram o refinamento do modelo. Embora um participante tenha considerado que C6 e C7 não são pertinentes, o avaliador não deixou comentário que justificasse a sua opinião. C6 diz respeito ao fato de que, no SoIS, um SI constituinte pode ter uma ou mais conectividade envolvendo um ou vários SI. Por sua

vez, C7 diz respeito ao fato de que a interoperabilidade oriunda dos SI constituintes permite a entrega de um resultado global que não pode ser fornecido por nenhum destes constituintes isoladamente. Ao longo da análise dessa avaliação, não foram encontrados em estudos na literatura algo que não ratificasse estas afirmações.

O grau de participação do Grupo 2 era esperado porque os participantes têm ao menos a noção básica dos conceitos de SoIS. Porém, o *feedback* dos participantes do Grupo 1 também foi importante, uma vez que, em sua maioria, eles estavam tendo o primeiro contato com o tema. Dessa forma, os resultados mostraram que, para esse grupo, o modelo foi útil por reforçar os conceitos básicos que lhes foram apresentados sobre SoIS durante a exposição do conteúdo relacionado ao tema.

As análises realizadas permitiram concluir que o modelo foi útil para os avaliadores que têm familiaridade com o tema, ou seja, o modelo ajuda a caracterizar os elementos e as suas relações de forma adequada. Notou-se também a necessidade de descrever algumas notações no modelo que representam conceitos e relações que foram descritas tanto no texto por extenso como no glossário de termos do modelo, mas que não estavam presentes na modelagem. Com os resultados obtidos por meio da das respostas dos avaliadores, o refinamento do modelo foi realizado e é discutido na próxima seção.

5.4.5. Refinamento

Para analisar os comentários e sugestões de todos os campos abertos, as respostas foram divididas em algumas categorias (uma resposta poderia ser classificada em mais de uma categoria). As categorias definidas foram correção no modelo, correção no texto por extenso, correção no texto do glossário, estética do modelo (visual) e comentário/sugestão não aplicável. A Figura 30 exibe o gráfico com essa categorização.

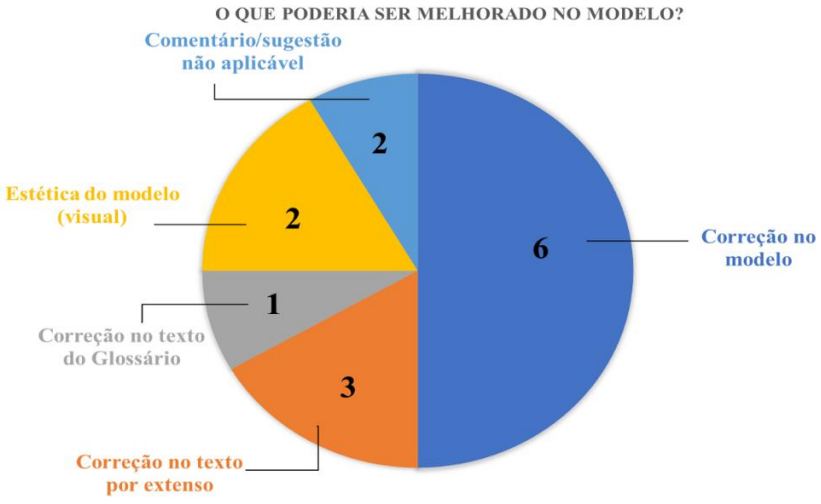


Figura 30. Gráfico das respostas das questões abertas agrupadas em categorias.

Por meio do gráfico, é possível perceber que, embora o modelo de SoIS tenha sido bem avaliado, houve a necessidade de correção no modelo (6 correções), seguida da necessidade de correção no texto por extenso (3 correções), melhorias na estética (2 correções) e, por fim, correção no texto do glossário (1 correção).

O refinamento do modelo (Figura 31) é discutido de maneira que as palavras com iniciais maiúsculas e em negrito representam uma entidade mantida ou acrescentada no modelo. Por outro lado, as palavras em itálico e negrito com iniciais maiúsculas representam entidades que sofreram alterações ou foram removidas. A seguir, uma das citações que motivou a definição da categoria **correção no modelo**:

> "*Na imagem do modelo conceitual o elemento **"linkInteroperabilidade" habilita o "ComportamentoEmergente"**, porém no texto acima a relação entre esses elementos é de que o primeiro facilita a conexão entre Constituintes*". [Participante 01]

O comentário do Participante 01 motivou a simplificação do relacionamento entre *linkInteroperabilidade* e *ComportamentoEmergente*. Analisou-se que o comportamento emergente é mais influenciado pelo desenvolvimento evolucionário dos SI do que pelo *link* de interoperabilidade. Isso ocorre porque a autonomia de um constituinte permite que a organização detentora desista de participar da aliança e retire o SI do arranjo (SALADO, 2018). Esse tipo de desistência pode ser motivado por requisitos de negócio próprios da organização. Por sua vez, esses requisitos vão influenciar o desenvolvimento evolucionário do SoIS, que é a característica que mais influencia o comportamento emergente (GOROD et al., 2008). Logo, a associação entre *linkInteroperabilidade* e **Comportamento Emergente** foi removida do modelo. Segue o comentário relacionado a essa correção:

> "*Um problema é que o **"LinkInteroperabilidade" não habilita o "ComportamentoEmergente"**, pois este é próprio do "ConstituinteSI". O comportamento emergente não depende de mensagem de outro elemento*". [Participante 02]

Entende-se por interoperabilidade, a conectividade existente entre SI na forma de envio, recebimento e uso de mensagens, dados ou informação. *Conectividade* e *LinkInteroperabilidade* soam redundantes porque ambas expressam a interoperabilidade. Portanto, foi preservada apenas a entidade ***Link* de Interoperabilidade** que reúne os conceitos de interoperabilidade pertinentes ao domínio de SoIS.

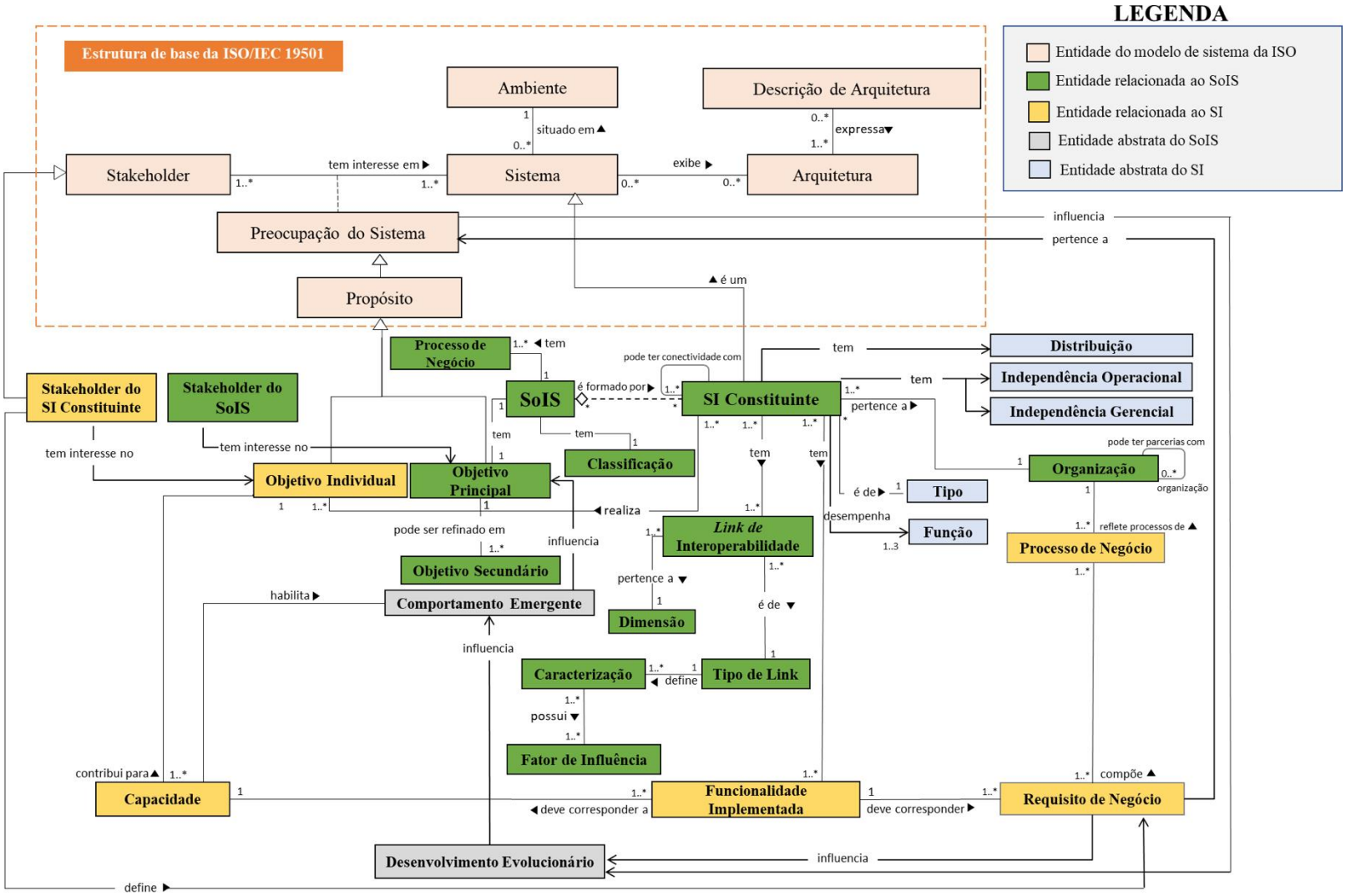


Figura 31. Modelo de SoIS refinado.

O símbolo de composição foi substituído pelo de agregação porque os SI existem por si só, independentes de participarem do arranjo de SoIS, e nada impede que um SI participe de mais de um arranjo de SoIS. A alteração foi feita apresentando a agregação entre as entidades **SoIS** e **SI Constituinte**. O comentário do Participante 11 exemplifica essa alteração:

> "***Relação "SoIS" com "ConstituinteSI"*** *fica redundante usar o* ***símbolo de composição da UML*** *com o nome da relação "é composto de" [...]*". [Participante 11]

Foram adicionadas as entidades **Dimensão**, **Tipo de *Link***, **Caracterização** e **Fator de Influência**. Essas entidades foram adicionadas porque só foram discutidas na seção de concepção do modelo, mas não estavam contempladas. Os SI constituintes existem sem a necessidade de estar operando para um SoIS. SoIS tem uma relação de dependência em relação aos constituintes porque o objetivo principal somente se realiza com a interoperabilidade entre os SI. Por isso, uma seta tracejada que representa a relação de dependência entre as duas entidades (SoIS e SI) foi adicionada. Por fim, a multiplicidade da relação entre o SI e o objetivo individual foi alterada para acatar a sugestão do Participante 11.

> "***Relação "ConstituinteSI realiza ObjetivoIndividual"*** *- A meu ver, um ConstituinteSI pode realizar 1 ou mais Objetivos individuais, todavia o objetivo individual só deveria ser realizado por um constituinte [...]*". [Participante 11]

A seguinte citação é parte da motivação em definir a categoria **correção no texto por extenso**:

> "***No texto está descrito*** *que "Neste caso,* ***requisitos de negócios, influenciados pelas partes interessadas*** *no constituinte deste arranjo,* ***influenciam diretamente o comportamento emergente do SoIS." Todavia****, ao checar o modelo* ***vemos que há o "desenvolvimento evolucionário" entre "Requisitos de negócio" e "Comportamento Emergente". Então a influência não é "direta" é "indireta"".*** [Participante 11]

O texto por extenso foi refinado para acatar a sugestão do participante. Entretanto, outros refinamentos foram realizados com base no corpo de conhecimento construído ao longo das fases 1, 2, e 3 dessa pesquisa. A Tabela 9 exibe o texto por extenso do modelo após a etapa de refinamento.

Tabela 9. Leitura por extenso do modelo conceitual de SoIS.

SoIS é uma aliança de várias organizações que disponibilizam um ou vários SI constituintes em prol do seu objetivo principal. SoIS tem um objetivo principal que pode ser refinado em um ou vários objetivos secundários e pode ter um processo de negócio ou mais. Cada SI no SoIS está distribuído e tem independência gerencial e operacional. O SI é de um tipo (manual, formal, informal ou intensivo em software) e, por pertencer a uma organização, desempenha de uma a três funções clássicas (processos e operações de negócios, auxílio na tomada de decisão e vantagem competitiva estratégica). Logo, o SI realiza um ou vários objetivos individuais para cumprir os interesses dos *stakeholders*. Por sua vez, uma organização pode ter ou não parcerias que influenciam a aliança com o SoIS. O que viabiliza a realização dos objetivos individuais são as suas funcionalidades implementadas. Cada funcionalidade deve corresponder a um ou vários requisitos de negócio que compõem um ou vários processos de negócio de uma organização. Em SoIS, o SI constituinte tem um ou mais *links* de interoperabilidade, formando por um ou vários SI. O *link* pertence a uma dimensão de interoperabilidade e é de um tipo. O *link* de interoperabilidade estabelecido permite a entrega de um resultado global que não pode ser fornecido por nenhum dos SI isoladamente. Esses *links* atendem a uma dimensão de interoperabilidade, é de um tipo que define uma ou várias caracterizações que lidam com um ou vários fatores de influência. Os requisitos de negócio relacionados a um SI constituinte são oriundos de uma organização e estão sujeitos a mudanças. Devido a isso, funções podem ser adicionadas, removidas ou modificadas no SI, conforme a necessidade de uma organização em particular, influenciando diretamente o desenvolvimento evolucionário. Assim, o desenvolvimento evolucionário influencia o comportamento emergente do SoIS. Já o *stakeholder* do SoIS tem interesse no objetivo principal do arranjo e tem como uma das principais preocupações a orquestração dessa aliança de modo que o SoIS se mantenha operando em meio ao desenvolvimento evolucionário e comportamento emergente. SoIS tem uma classificação (direcionado ou reconhecido) que pode influenciar a maneira como os *stakeholders* do SoIS devem reunir esforços para melhor gerenciar alianças entre organizações. O *stakeholder* do SoIS deve lidar com o fato de cada SI constituinte ser um sistema situado em um determinado ambiente, possuir uma arquitetura independente e um conjunto de preocupações particulares. Dependendo do tipo de classificação (direcionado ou reconhecido), podem lidar com questões como a possibilidade de existirem relações conflituosas entre *stakeholders* ou mesmo interesses conflitantes. O *stakeholder* do SoIS pode ser uma pessoa, grupo ou alguém que represente alguma organização e/ou alguém que não tem vínculo direto com algum SI constituinte.

Em relação à **estética** do modelo, um comentário foi:

> "*Encontrar os elementos (e relacionamentos) descritos na leitura, foi um pouco confuso por* ***causa do modelo monocromático***. ***O uso de cores seria apreciado em um modelo tão extenso*** *e, de certa forma, complexo*". [Participante 07]

No intuito de diminuir dificuldades relacionadas às cores monocromáticas e à identificação de entidades abstratas ou instanciáveis, as seguintes mudanças foram realizadas: (i) usou-se cores diferentes para cada categoria de entidade e (ii) adicionou-se uma legenda indicando quais entidades são abstratas ou não.

No modelo refinado (Figura 31), a entidade cuja caixa é da cor rosa representa um elemento do modelo base da ISO. A caixa verde representa uma entidade cujo elemento está relacionado diretamente ao SoIS. A caixa laranja representa uma entidade cujo elemento está relacionado diretamente ao SI constituinte. Por sua vez, a caixa cinza representa uma entidade abstrata que indica uma característica do SoIS e a caixa azul representa uma entidade abstrata que indica uma característica do SI.

A descrição do elemento do glossário "capacidade" também foi refinada (Tabela 6). A nova descrição passou a ser: "*a capacidade corresponde às competências que o objetivo principal do SoIS irá exigir dos constituintes para que participem do arranjo*". Uma das citações que representa a categoria **correção no texto do glossário** é:

> "***A descrição de Capacidade diz que é resultado de um 'trabalho colaborativo'*** *gerado por um 'conjunto de sistemas existentes' no SoIS, ou seja,* ***é descartada a individualidade***. *Mas se seguirmos o fluxo do modelo na menor quantidade permitida, podemos ter que:* ***'um constituinteSI tem uma funcionalidadeImplementada que deve corresponder a uma Capacidade***'" [Participante 05]

A partir do modelo refinado, partiu-se para a instanciação a fim de verificar a sua aplicabilidade. A próxima seção descreve a última atividade desta fase da pesquisa.

5.4.6. Instanciação

A instanciação do modelo se deu para fins de aplicação. Para este propósito, foram selecionados arranjos de sistemas com o intuito de classificá-los como sendo um SoIS ou não, de acordo com o modelo conceitual. Dois casos reais foram utilizados: um caso do domínio da gestão ambiental e outro caso do domínio do sistema financeiro.

Nesta atividade, um conjunto de SI foi analisado com base nas definições estabelecidas na tabela que reúne os conceitos-chave do modelo de SoIS (Tabela 6). Para

isto, um formulário foi desenvolvido e utilizado para apoiar a organização dos dados necessários para a análise dos SI (Figura 32).

O formulário necessita ser preenchido com dados básicos sobre o arranjo que se pretende analisar. A princípio, são necessários dados básicos como: (a) nome do SoIS; (b) nome de todos os SI constituintes; (c) objetivos individuais de cada SI; (d) nome da organização responsável pelo constituinte; (e) *links* de interoperabilidade entre os SI; (f) objetivo principal do SoIS; e, por fim, (g) objetivos secundários.

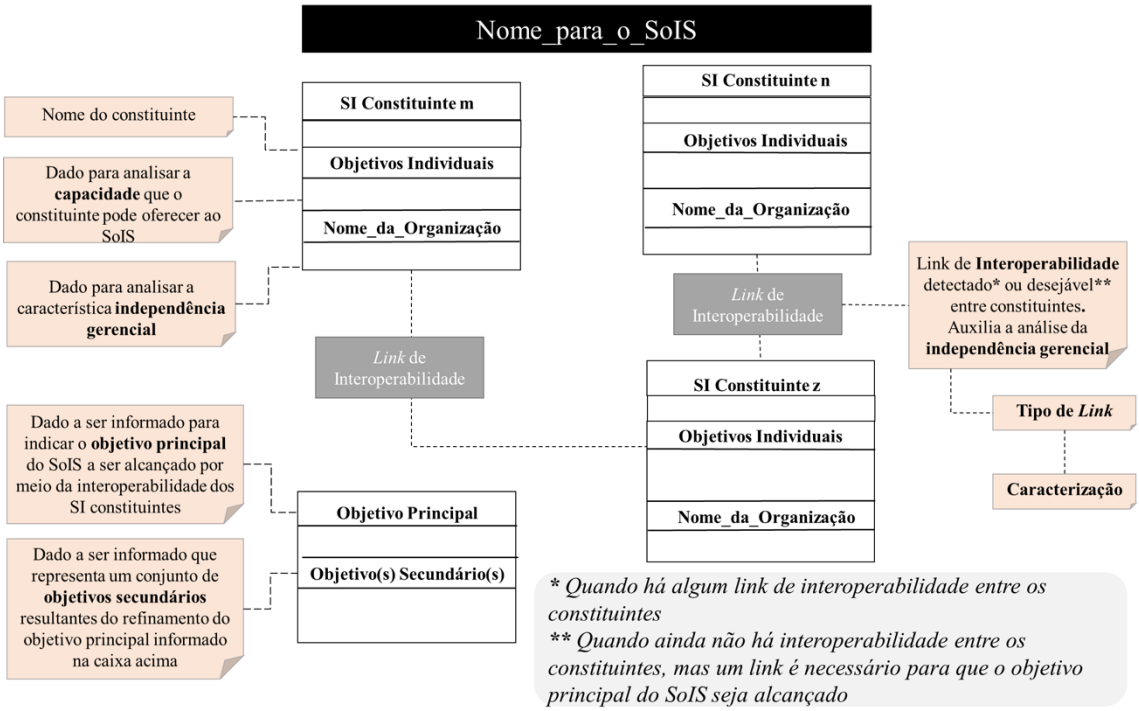


Figura 32. Formulário para coleta de dados do arranjo de SoIS a ser analisado.

O nome do SoIS é um dado que pode ser baseado em um arranjo existente ou um nome atribuído para um arranjo que ainda pretende ser formado. O nome dos SI constituintes é um dado existente, porque um constituinte geralmente tem alguma identificação comercial. Os objetivos individuais do SI representam a principal missão desempenhada pelo constituinte, que justifica a sua operação. Por meio do objetivo individual do SI, espera-se identificar a capacidade que o constituinte tem de oferecer alguma capacidade para o SoIS que se deseja formar ou identificar.

Por sua vez, um SI possui uma organização ou unidade organizacional responsável pela gerência, manutenção e operação. O nome da organização é solicitado no formulário porque auxilia na análise da autonomia do constituinte. Os constituintes em um SoIS possuem autonomia quando a organização ou a equipe da gerência/operação são diferentes entre si. Em seguida, os *links* de interoperabilidade devem ser identificados para que se detecte relações de alianças inter-organizacionais.

A interoperabilidade pode existir ou pode não estar estabelecida por se tratar de um SoIS que ainda almeja se formar. Por fim, o objetivo principal do SoIS deve ser informado, pois é o que motiva a identificação e/ou formação do arranjo. Objetivos secundários devem ser informados porque representam o refinamento do objetivo principal. Os casos utilizados são apresentados como segue.

Caso 1. Domínio da Gestão Ambiental: O primeiro caso analisado envolve SI do domínio da gestão ambiental dos âmbitos estadual e federal do cenário brasileiro (FERNANDES et al., 2019). Cada SI possui seus objetivos particulares: (i) um sistema integrado de gestão ambiental e recursos hídricos (SI-1), cujo objetivo é gerenciar processos eletrônicos de licenciamento e outorgas em nível estadual; (ii) um sistema nacional de controle da origem dos produtos florestais (SI-2), cujo objetivo é gerenciar atividades florestais, empreendimentos de base florestal e processos correlatos sujeitos ao controle por parte dos órgãos do sistema nacional do meio ambiente; e, por fim, (iii) um sistema de cadastro ambiental rural (SI-3), cujo objetivo é integrar e gerenciar informações ambientais dos imóveis rurais de todo o país, a fim de subsidiar políticas, programas, projetos e atividades de controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento ilegal.

Todos os SI possuem as seguintes características: a) independência operacional dos constituintes, pois a existência, a operação e os propósitos de cada SI são independentes; b) independência gerencial, pois cada SI foi desenvolvido por uma instituição diferente e possui equipe de desenvolvimento própria; c) desenvolvimento evolutivo para esse SoIS está presente pelo fato de cada SI estar sujeito a mudanças conforme surjam novos requisitos de negócios e metas de evolução, além de cada constituinte manter sua própria arquitetura; d) distribuição, tendo em vista que algumas estratégias têm sido pensadas no intuito de estabelecer comunicação e troca de dados entre os SI. Esses SI constituintes juntos podem oferecer capacidades para contribuir para a realização do objetivo principal do arranjo de SoIS, que é gerir a biodiversidade (i.e., recursos de diferentes biomas sejam eles flora e fauna) de uma determinada área ambiental brasileira.

Por fim, ao considerar as particularidades de cada um desses SI e conjecturar sobre o que juntos são capazes de entregar, percebeu-se como: e) comportamento emergente, a capacidade de gerir a biodiversidade de uma determinada área (município/distrito). A gerência da biodiversidade permite que gestores ambientais tenham conhecimento do limite de capacidade de suporte ambiental de uma área. O conhecimento do real limite de suporte ambiental de uma determinada área é importante para a análise de autorizações e

licenças de novas atividades que impactam o meio ambiente, e.g., emissão de gases, degradação do solo, risco de incêndio, dentre outras.

Um exemplo prático do objetivo principal para a formação desse SoIS neste caso é a capacidade de tornar transparente para o gestor ambiental a informação acerca do real impacto ambiental de uma licença ambiental[28]. Com essa informação, supõe-se que um novo empreendimento que causa impacto ambiental (e.g., posto de gasolina) queira operacionalizar suas atividades em uma determinada área de alguma cidade. Mesmo que o empreendedor cumpra todos os requisitos necessários para obtenção de uma licença, o órgão responsável pode optar por não licenciar essa atividade. Uma decisão como essa só pode ser tomada ao ter a informação de que a área não possui capacidade de suporte ambiental para acomodar a demanda dessa atividade. Para isso, faz-se necessário a sinergia entre pelo menos os três SI desse caso. A emissão de licenças ambientais no geral é condicionada apenas à análise e validação da documentação apresentada ao SI-1. A emissão de licenças relacionadas a controle da origem de produtos ou subprodutos florestais é obtida sob coordenação e regulamentação por meio do SI-2. O SI-3 é responsável por possuir o planejamento ambiental e econômico do uso e ocupação de um determinado imóvel rural. A Figura 33 exibe o formulário com os dados do caso 1.

O *link* de interoperabilidade existente entre SI-1 e SI-3 permite que o SI tenha acesso a informações atualizadas sobre o uso e ocupação de imóveis rurais que podem ser necessários. O tipo de *link* de interoperabilidade existente entre eles é a requisição por meio de passagem de parâmetros via *URL e método GET*. O consumo de dados do SI-3 a partir de SI-1 é caracterizado por um fraco acoplamento. No entanto, faz-se necessário que SI-3 esteja disponível via Internet. Caso haja indisponibilidade do SI-3 via Internet, os dados coletados podem ser adquiridos de forma manual por meio de documentos comprobatórios em posse de quem realizar a abertura do processo para solicitação de licença.

O *link* de interoperabilidade entre SI-1 e SI-2 deve ser negociado pelo time de gestão para que os meios de interoperar os SI sejam os mais adequados para ambos os sistemas (FERNANDES e SANTOS, 2017b). SI-2 é capaz de disponibilizar informações relacionadas às atividades realizadas por determinados empreendimentos que têm relação com o domínio de produtos ou subprodutos florestais que o SI-1 não engloba.

SI-1 e SI-2 são intensivos em software, mas SI-2 não disponibiliza dados diretamente para SI-1 de maneira que possam ser acessados por um tipo de *link* via

[28] A licença ambiental é um documento oficial que autoriza a implementação de uma ou várias atividades que causam impacto no meio ambiente.

requisição GET, por exemplo. Sendo assim, cabe ao time de gestão do SoIS estabelecer negociações e definir a forma mais adequada de interoperar os sistemas para que o objetivo geral do SoIS possa ser alcançado. Essa negociação que a gestão do SoIS deve liderar deve ser capaz de harmonizar estratégias com cada time de gestão dos constituintes em questão. Uma das harmonizações necessárias envolve os processos de negócios que compõem requisitos de negócios refletidos das funcionalidades dos sistemas.

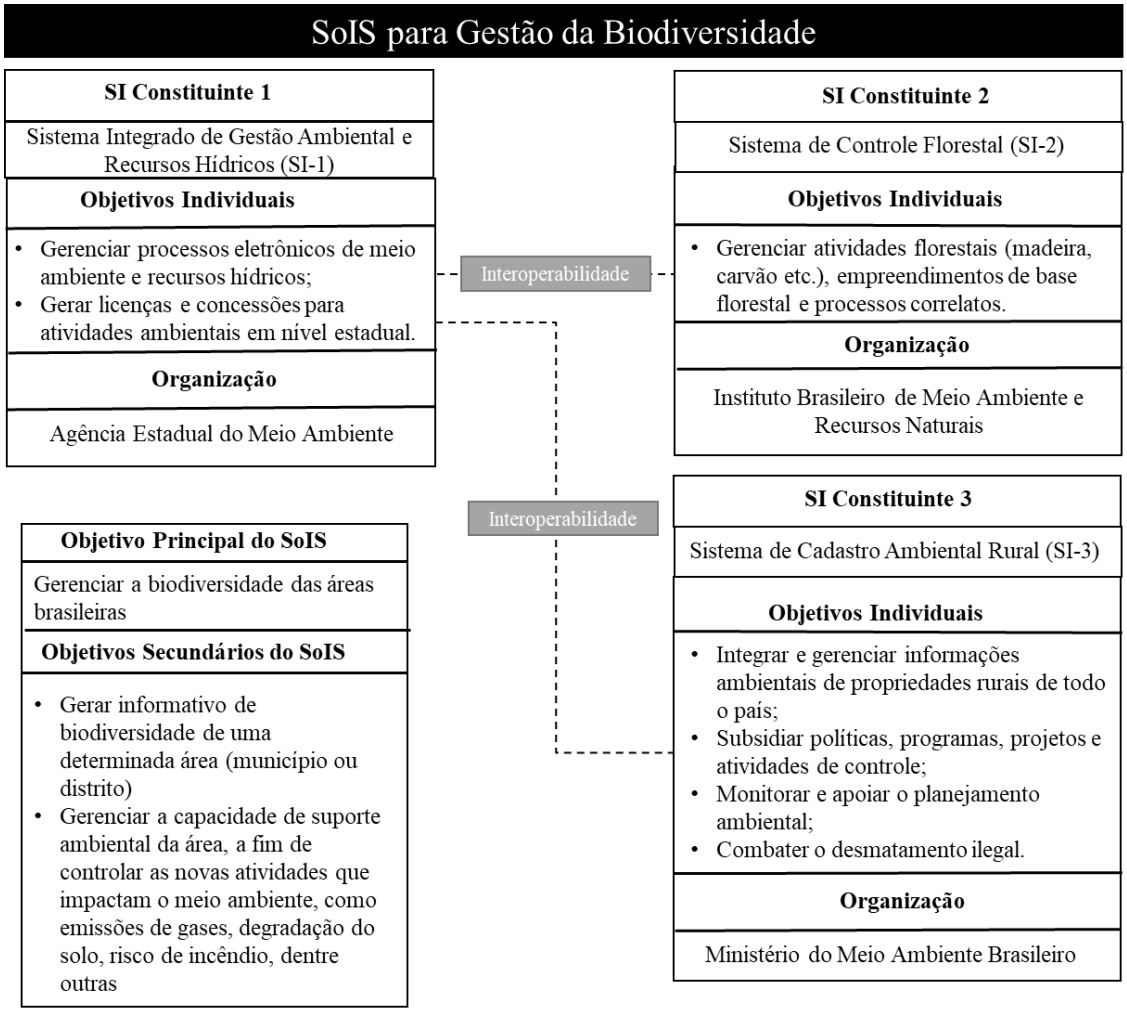


Figura 33. Aplicação do modelo de SoIS para o Caso 1.

Caso 2. Sistema Bancário Global. Esse caso trata da análise do arranjo de sistemas bancários global, que é um conjunto de diferentes SI integrados e agrupados para alcançar um objetivo comum compartilhado (FERNANDES et al., 2019). O sistema financeiro global é dividido em entidades regulamentadas (bancos e companhias de seguros), supervisores e instituições como o Banco Central Europeu ou o Fundo Monetário Internacional (FMI). A Figura 34 exibe o formulário com dados do caso 2.

Tais instituições são gerenciadas de forma independente. No entanto, para que o sistema bancário global seja bem-sucedido, todas as entidades do sistema devem aceitar os conceitos e a retórica que permitem que o sistema funcione efetivamente. Por outro

lado, os constituintes deste arranjo não possuem total autonomia operacional porque, neste caso específico, os SI constituintes operam em prol da realização do objetivo do sistema global como um todo e não em prol de objetivos individuais.

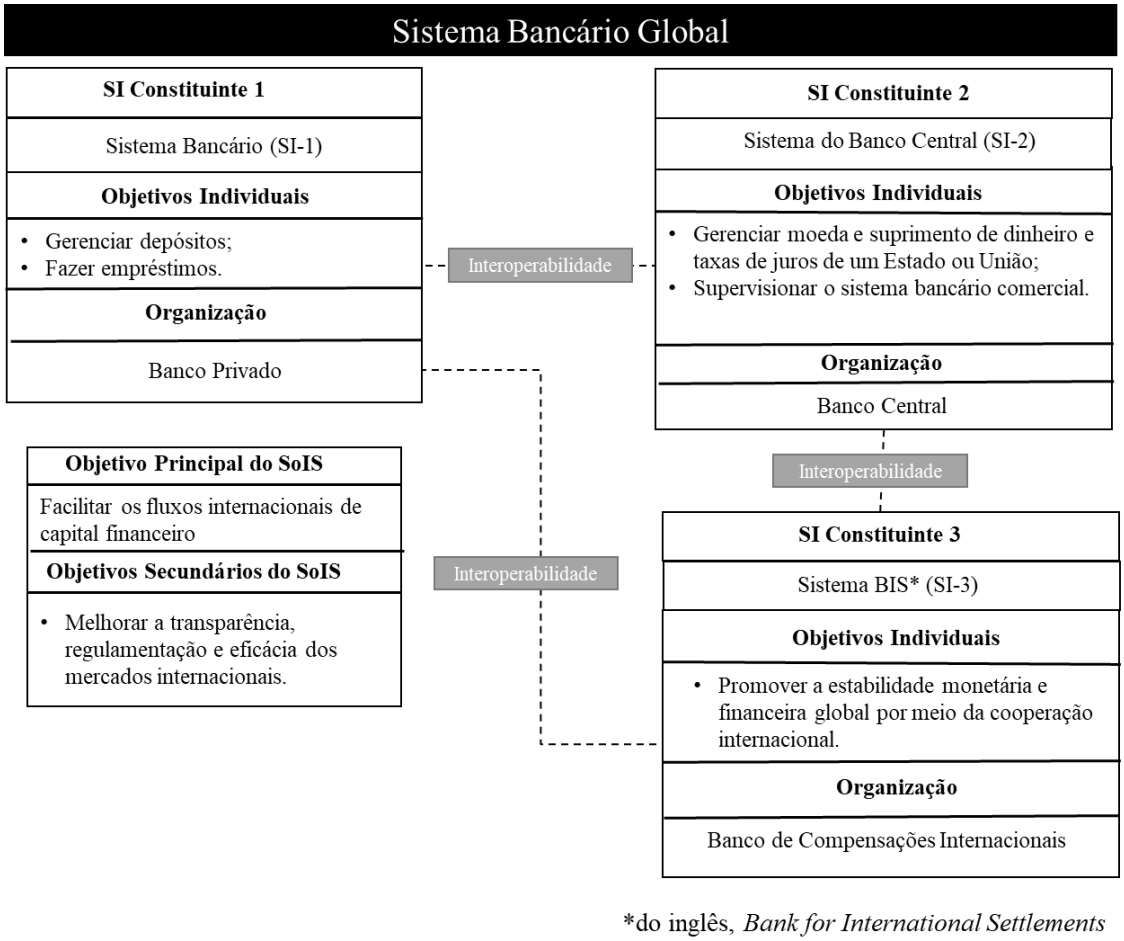


Figura 34. Aplicação do modelo de SoIS para o Caso 2.

5.5. Guia de Utilização do Modelo

A fim de facilitar a utilização do modelo de SoIS, um guia foi elaborado com cinco (5) passos básicos (Figura 35) para fins de caracterização de arranjo. Entretanto, a utilidade do modelo não se restringe somente a isso. O modelo pode servir como meta-modelo para a concepção de ferramentas de software para o domínio de SoIS no geral.

O **passo 1**, que envolve a identificação das entidades não abstratas do modelo, pode ser realizado com o auxílio da observação do recorte do modelo de SoIS que contempla as entidades que potencialmente podem ser instanciadas (Figura 36). A instanciação se refere à possibilidade de servirem de apoio para ferramentas de software de análise de SoIS em geral.

Figura 35. Passos básicos para iniciar a utilização do modelo conceitual de SoIS.

Embora todas as entidades representem elementos importantes ao domínio de SoIS, a depender do que se deseja representar, nem todas as entidades são necessárias. Por exemplo, algumas entidades são necessárias no momento do *design* de *links* de interoperabilidade e outras são necessárias para caracterizar um arranjo como SoIS.

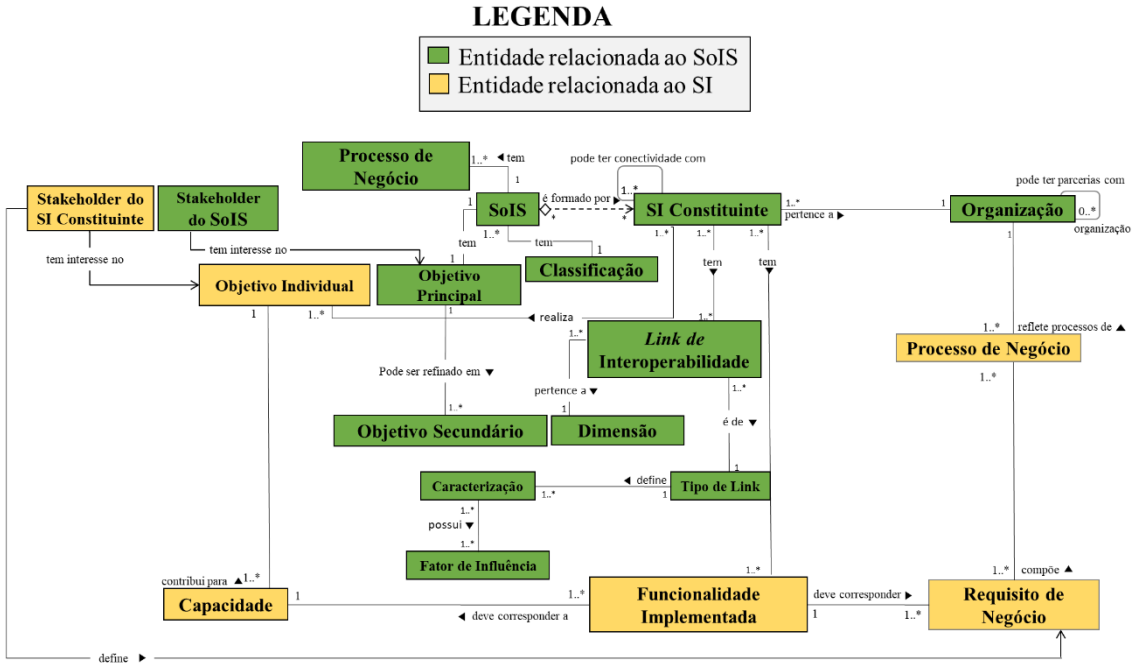


Figura 36. Recorte do modelo de SoIS com as entidades instanciáveis.

O **passo 2,** que trata da coleta de dados relacionados ao SoIS, inclui as atividades de definição do objetivo principal (e secundários) da formação do arranjo. Os objetivos secundários são uma forma de refinar o objetivo principal em metas menores e mais concretas que podem ser planejadas, executadas e mensuradas. As entidades do modelo relacionadas diretamente ao SoIS incluem: (a) objetivo principal, (b) objetivo secundário, (c) SI constituinte, (d) *link* de interoperabilidade, (e) dimensão, (f) tipo de *link*, (g)

caracterização do *link* de interoperabilidade, (h) fator de influência, (i) organização e (j) processo de negócio do SoIS. Essas entidades estão representadas na Figura 36 por meio de retângulos verdes.

Os dados a serem identificados nesse passo podem ser extraídos de um contexto existente ou podem ser elaborados por um potencial *stakeholder* do SoIS que almeja ou vislumbra a formação de um arranjo de SI independentes. Isso se dá com base na percepção e/ou experiência *stakeholder* em determinado negócio do mundo real, além do conhecimento sobre o potencial de múltiplos SI trabalharem juntos em um SoIS.

O **passo 3**, que trata da coleta de dados relacionados aos SI constituintes, inclui as atividades de identificação do nome de cada SI, identificação da organização a qual cada SI pertence e identificação do objetivo individual de cada SI. Por sua vez, as entidades do modelo relacionadas aos SI constituintes utilizadas nesse passo incluem: (a) objetivo individual e (b) capacidade. A coleta destes dados pelo *stakeholder* do SoIS pode ser feita de maneira empírica, por meio de análise de documentação *ad-hoc* ou por meio de pesquisas realizadas diretamente com *stakeholders* dos SI constituintes.

Como discutido na apresentação do modelo (Seção 5.3), o *stakeholder* do SoIS deve ser capaz de vislumbrar uma aliança para que novos recursos ou serviços sejam alcançados. Porém, esse *stakeholder* também pode se tratar de um ator humano externo a todas as organizações analisadas, mas que possui um conhecimento prévio em relação às potenciais capacidades de múltiplos SI constituintes independentes.

O **passo 4**, que trata da utilização do formulário, permite que os dados identificados e coletados nas etapas anteriores sejam organizados para facilitar a análise ou *design* do SoIS. Por sua vez, o **passo 5** envolve a análise dos dados preenchidos no formulário que utiliza entidades abstratas presentes no recorte do modelo da Figura 37.

A análise pode ser feita observando objetivos individuais identificados em cada SI. Cada objetivo individual permite que o *stakeholder* do SoIS avalie a capacidade de cada constituinte em prover serviços para o arranjo de SoIS. Ao analisar o SI em termos de tipo, pode-se verificar se o constituinte é um SI manual, informal ou intensivo em software como descreve o glossário de conceitos-chave (Tabela 6). Na análise, observa-se a autonomia dos constituintes por meio dos dados sobre as organizações as quais os SI pertencem. Essas observações são feitas de maneira empírica.

O guia de utilização pode auxiliar um gestor no processo de *design* de *links* de interoperabilidade. Nesse processo, fatores de influência podem ser considerados para que se conheça os desafios no estabelecimento de *links* especialmente nesse domínio e como

podem ser mitigados. Na próxima seção, algumas diretrizes para o *design* de *links* de interoperabilidade em SoIS são propostas considerando fatores de influência.

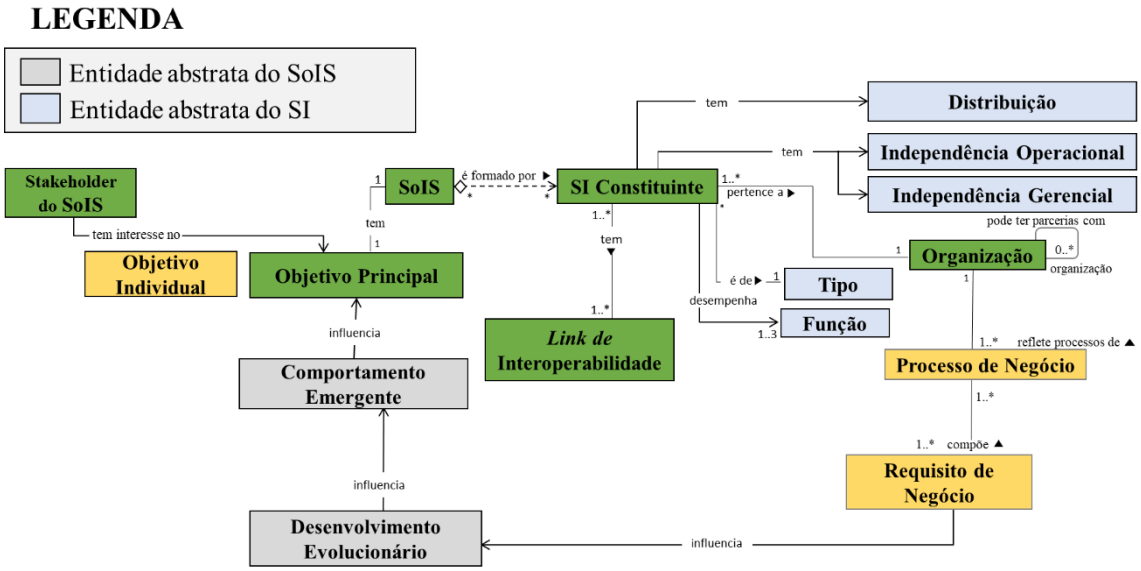


Figura 37. Recorte do modelo de SoIS com as entidades abstratas.

5.6. Revisitando Dez Fatores que Influenciam a Interoperabilidade em SoIS

O conjunto dos dez fatores técnicos, humanos e organizacionais que influenciam a interoperabilidade em SoIS foram descritos no Capítulo 3, embora possam influenciá-la também em outros domínios de sistemas. A interoperabilidade permite que múltiplos SI se adaptem a diferentes contextos e condições. No entanto, interoperar SI envolve influências técnicas, humanas e organizacionais. Em SoIS, tais influências se diferenciam pelas características do domínio.

O **estabelecimento de infraestrutura e conectividade (FI-1)** é um fator que afeta a interoperabilidade em SoIS, porque a autonomia dos SI constituintes pode limitar as alternativas que um gerente de SoIS tem para viabilizar a execução do arranjo. Nesse ponto, o estabelecimento de infraestrutura em SoIS deve considerar que o fraco pertencimento que esses SI possam vir a ter em relação ao arranjo seja uma barreira para a conectividade.

A diversidade tecnológica do SI constituintes se assemelha a qualquer arranjo de sistemas heterogêneos. No entanto, diferentemente de outros arranjos, SoIS lida com o dinamismo, que faz com que um SI deixe o arranjo. Nesse caso, o estabelecimento de infraestrutura e conectividade em SoIS não é estática como seria em uma formação de sistemas federados, por exemplo. Isso deve ao fato de SoIS lidar com o comportamento emergente influenciado pelo desenvolvimento evolucionário dos SI que, ao trabalharem para o cumprimento de seus objetivos particulares, não priorizam o SoIS. A

interdependência dos SI constituintes em relação ao SoIS é mais fraca, porque o arranjo deve ser projetando contando que um constituinte pode deixar o arranjo por decisão do *stakeholder* do SI.

O **fornecimento de informações técnicas dos elementos de TI envolvidos (FI-2)** é um fator que afeta a interoperabilidade em SoIS porque a autonomia dos SI pode dificultar o pleno conhecimento das informações técnicas. O fato do pertencimento dos SI ao SoIS não ser claro e mandatório como acontece em um ERP (do inglês, *Enterprise Resource Planning*) pode não ser suficiente para a gestão do SoIS. Para que FI-1 seja eficiente para a operacionalização do arranjo, FI-2 é importante para que se tenha pleno conhecimento em relação à diversidade dos SI envolvidos. A gestão do SoIS também conta com a garantia de FI-2 devido ao dinamismo desse arranjo.

A **necessidade de definição da arquitetura do arranjo (FI-3)** é um fator que afeta a interoperabilidade, especialmente pelo fato da autonomia dos SI levar ao abandono dos constituintes do arranjo. Nesse sentido, o planejamento arquitetural de um SoIS que leva em conta a diversidade dos SI que inicialmente compõem o arranjo pode estar sujeito a constantes alterações. O comportamento emergente e o constante desenvolvimento evolucionário fazem com que FI-3 seja adaptado ao dinamismo.

Em SoIS, influências humanas na interoperabilidade, como **necessidade de definição de responsabilidades e autoridade (FI-4)**, é uma realidade porque a integração dada por uma obrigatoriedade não é uma regra como ocorre na federação de sistemas. Definir responsabilidades e autoridade se torna necessário em SoIS porque a existência de um ator que atue para a governança do arranjo pode ser um ponto de equilíbrio em relação à interdependência dos SI que têm autonomia.

Os **pensamentos e percepções humanas** (**FI-5)** é um fator que influencia a interoperabilidade porque afeta o *design* dos *links* de interoperabilidade. Pode-se considerar que os pensamentos direcionam para que as necessidades de formação de arranjos de SoIS sejam forjadas. Nesse ponto, as percepções humanas andam junto com os pensamentos. Isso ocorre a partir do momento que o modo como o ser humano abstrai o mundo real, com base em suas experiências pessoais e vivências, pode vislumbrar a formação de arranjos.

A conectividade e a interdependência dos SI em um SoIS vão ser planejadas inicialmente com base em FI-5, uma vez que os constituintes podem não estar diretamente relacionados ao *stakeholder* do SoIS. Esse fator pode ser considerado um norteador para que comportamentos emergentes desejados e o desenvolvimento evolucionário sejam prioridade.

O fator **diversidade de relacionamentos entre empresas, parceiros e clientes (FI-6)** afeta a interoperabilidade em SoIS, pois se reflete na autonomia dos SI constituintes. A conectividade em SoIS deve ser planejada considerando a diversidade tecnológica dos SI que farão parte do arranjo em um momento que pode ser limitado, como também a diversidade de negócios que já estão estabelecidos em torno dos SI.

Pode não ser trivial para um *stakeholder* do SoIS lidar com atores que não podem ser previstos durante o *design* dos *links* de interoperabilidade, dado o não conhecimento prévio das relações de parcerias e clientes que fazem parte do universo dos SI. Um SoIS pode ser formado para servir a um domínio de negócio como o educacional. Porém, o SoIS pode necessitar de SI de outros domínios para alcançar o objetivo principal, como o de mobilidade urbana.

A **experiência profissional (FI-7)** é um fator que afeta a interoperabilidade no domínio de SoIS, pois torna mais complexo o processo de *design* de *links* de interoperabilidade sem uma vivência mínima em trabalho prático com interoperabilidade. Em contextos convencionais em que um profissional de TI trabalha no setor desenvolvimento de uma organização, interoperabilidade ocorre sob demanda. Por outro lado, SoIS é um domínio cuja premissa é a interoperabilidade. Portanto, o conhecimento profissional sobre diferentes abordagens e tecnologias empregadas para a conectividade de SI deve existir para que FI-5 e FI-6 possam levar o profissional a forjar arranjos.

O fator **necessidade de definição de medidas de eficácia e desempenho** (**FI-8**) afeta a interoperabilidade em SoIS pela diversidade e autonomia dos SI constituintes. Nesse caso, a governança de um arranjo dinâmico como SoIS pode ser prejudicada sem que não haja formas de mensurar eficácia e desempenho do arranjo no cumprimento da missão. A entrada e a saída dos SI constituintes do SoIS tanto podem vir espontaneamente dos detentores desses sistemas, como também por influência da gestão do SoIS.

A **necessidade de estratégias de negócio harmonizadas (FI-9)** é um fator que influencia a interoperabilidade em SoIS, principalmente pelo fato de o time de gestão ter que lidar com o fator FI-6. Estratégias harmonizadas se tornam necessárias pelo fato de SoIS ser um tipo de arranjo que pode envolver SI constituintes de domínios diferentes que, para se comunicarem, podem requerer a interferência do *stakeholder* do SoIS.

Por fim, a **capacidade de visualização de recursos (FI-10)** é um fator que afeta a interoperabilidade em SoIS, sobretudo se o *design* de *links* de interoperabilidade envolver SI de diferentes organizações. O *stakeholder* do SoIS pode não ter relação direta com o time de gestão dos SI. Portanto, a capacidade de visualizar todos os recursos do SI pode ser prejudicada. Ter o conhecimento sobre os recursos que um SI pode ser capaz de

fornecer ao SoIS é importante, sobretudo no planejamento do comportamento emergente e desenvolvimento evolucionário do arranjo. Na próxima seção, algumas diretrizes para o *design* de *links* de interoperabilidade em SoIS são propostas com base nos fatores de influência.

5.7. Diretrizes para o *Design* de *Links* de Interoperabilidade em SoIS

Uma das principais questões que envolvem a interoperabilidade é determinar qual é o nível ideal, isto é, como os sistemas devem (e como não devem) trabalhar juntos (PALFREY e GASSER, 2012). Vale ressaltar que SoIS não trata sobre a criação de sistemas interoperáveis, mas sim sobre a definição da melhor maneira de estabelecer *links* de interoperabilidade entre SI existentes para cumprir objetivos maiores definidos para o arranjo. Nesse sentido, diretrizes para o *design* de *links* contribuem para auxiliar gerentes sobre que caminhos podem ser seguidos para a formação de arranjos de SoIS.

Nesse caso, esta pesquisa propôs algumas diretrizes que tratam de instruções que podem dar suporte ao *design* de *links* de interoperabilidade em SoIS. As diretrizes são apresentadas junto a etapas do *design* de *links* de interoperabilidade em SoIS, conforme mostra a Figura 38. As etapas são: (i) definir objetivo principal, (ii) definir objetivos secundários, (iii) definir processo de negócio, (iv) mapear entradas e saídas, (v) buscar SI candidatos; e (vi) definir arquitetura. A seguir, alguns estudos analisados no estudo longitudinal (Capítulo 3) são citados durante as explicações.

Definir o objetivo principal é o primeiro passo para garantir a interoperabilidade. Esse estágio é essencial para a elicitação dos requisitos do SoIS, pois inclui a identificação de *stakeholders* e necessidades e facilita a identificação dos SI constituintes. Além disso, a identificação de objetivos também pode ser valiosa para o reconhecimento de objetivos conflitantes (LEWIS et al., 2009). Esse reconhecimento de conflitos é importante porque, em SoIS, os constituintes costumam dar prioridade mais alta aos objetivos individuais.

Definir os objetivos secundários é o resultado do refinamento do objetivo principal do SoIS. Este passo ajuda a identificar as capacidades dos SI constituintes e a definir o processo de negócio que vai nortear o funcionamento do arranjo. Os objetivos secundários estão relacionados às expectativas funcionais e de qualidade (e.g., confiabilidade, disponibilidade, desempenho etc.). A definição destes objetivos fornece *insights* sobre os recursos necessários para a formação do arranjo e auxilia a identificar os SI que podem fornecer estes recursos.

Definir o processo de negócio corresponde à sequência lógica de atividades a serem executadas para atingir um objetivo específico. Um processo de negócio mostra quem é responsável pelo desempenho de cada atividade e como se dá a interoperação. Ou seja, de que maneira os atores de um processo interagem para que se tenha o resultado desejado.

Figura 38. Diretrizes para o *design* de interoperabilidade em SoIS.

A identificação de interações permite a melhor compreensão do SoIS, bem como o entendimento das interdependências entre os SI, responsabilidades e possíveis riscos. Estas interações podem ser de máquina para máquina, de máquina para humano e até de humano para humano, a depender do nível de interoperabilidade que se deseja alcançar.

Nessa etapa, há a necessidade de estratégias de negócio harmonizadas (**FI-9**) para auxiliar as decisões sobre a interoperabilidade interorganizacional, que incluem: (i) elaboração de planos de gerenciamento de riscos (P17); (ii) estratégias de intervenção na evolução dos nós da rede formados pelos *links* de interoperabilidade (P27); e, por fim, (iii) investimentos em técnicas de análise de requisitos (P71). Nessa etapa, a capacidade da visualização dos recursos informacional (**FI-10**) (P5, P42, P63) ocorre por meio de: (i) entendimento semântico dos domínios de negócio em torno dos SI constituintes (P42, P55, P65); e (ii) compartilhamento de informações e conhecimento por meio da divulgação de especificações em torno da equipe do SoIS ou de outros *stakeholders* (P35, P47, P64).

Mapear formatos de entradas e saídas para garantir que o SoIS trabalhe com dados os mais homogêneos possíveis. SoIS são formados por SI fracamente acoplados e independentes que possuem o próprio modelo de dados. Portanto, esta etapa é essencial para, por exemplo, identificar possíveis diferenças nos tipos e formatos de dados entre os SI (e.g., moeda, medidas como altura, peso e distância etc.).

Nessa etapa, recomenda-se que o quadro de fatores técnicos que influenciam a interoperabilidade em SoIS junto à lista de desafios e ações de mitigação sejam observados (Figura 19). Saber como lidar com os desafios técnicos decorrentes dessa etapa pode

auxiliar a tomada de decisões estratégicas no momento do mapeamento de entradas e saídas do SoIS.

Identificar candidatos de SI para o cumprimento do objetivo principal de um SoIS depende diretamente das capacidades dos SI constituintes. A combinação dessas capacidades é responsável pelo comportamento emergente. Logo, essa etapa inclui a identificação de SI constituintes que possuem os recursos necessários para alcançar os objetivos do SoIS definidos nas etapas anteriores.

Nessa etapa, recomenda-se que seja observado o quadro de fatores humanos (Figura 20) e organizacionais (Figura 21) que influenciam a interoperabilidade em SoIS. Observar os quadros com uma lista de desafios e ações pode auxiliar a tomada de decisões estratégicas. Ao lidar com essa etapa, é importante destacar que qualquer tipo de condição e padrão, em geral, não aparece sem resistência (MINTZBERG e WATERS, 1990). A implementação da interoperabilidade se constitui inevitavelmente de um fenômeno de comunicação envolvendo mecanismos de negociação (P15, P23, P43, P43, P51, P59), compensação (P59) e diplomacia. Portanto, recomenda-se definir um conjunto consensual de normas e regras a serem apresentadas aos *stakeholders* caso seja necessário (P23).

Definir a arquitetura do SoIS é uma descrição de alto nível do *design* que inclui uma representação de componentes do software (e.g., objetos, processos, repositórios de dados etc.), propriedades desses componentes visíveis externamente e relacionamentos (BASS et al., 2003). No caso de SoIS, os componentes são chamados de constituintes e são essencialmente SI.

Nessa etapa, recomenda-se uma avaliação de como cada abordagem de interoperabilidade definida ISO 14258 (integrada, unificada e federada) (ISO,1999) pode influenciar as características de um SoIS antes de descrever a arquitetura do arranjo. Isso pode ser feito ao analisar o quadro de avaliação das abordagens ISO 14258 (ISO,1999) (Figura 39). O quadro é um informativo que reúne a descrição sucinta de cada abordagem e como cada uma afeta potencialmente as características de um arranjo de SoIS. Manter um SoIS operando para cumprir um objetivo enquanto a autonomia dos SI constituintes é preservada permite conjecturar que a interoperabilidade no SoIS não deve ser tratada apenas como um fenômeno de integração. Estudos indicam que um alto nível de integração entre SI pode não ser apropriado para ambientes de negócio que almejam não comprometer a flexibilidade e capacidade de resposta das operações (PAVLOU e SINGLETARY, 2002; LEE e MYERS , 2004; AUBERT et al., 2010; SOARES e AMARAL, 2014).

Por meio do quadro avaliativo, o *stakeholder* do SoIS pode conhecer os potenciais efeitos da escolha de uma abordagem para este domínio. A análise das características de SoIS segundo cada abordagem de interoperabilidade ISO 14258 pode influenciar as características de SoIS discutidas no Capítulo 2. Nesse sentido, essa pesquisa analisou como cada abordagem pode ou não ameaçar a manutenção das características em um arranjo SoIS. Os detalhes sobre a avaliação e limitações das discussões sobre as abordagens de interoperabilidade da ISO 14258 estão descritos no Apêndice V.

Maneiras de lidar com a interoperabilidade considerando as abordagens		Autonomia	Desenvolvimento evolucionário	Comportamento emergente	Conectividade	Interdependência	Diversidade	Dinamicidade	Pertencimento
INTEGRADA	Interface padronizada de acordo com o alinhamento dos sistemas	●	●	●	✓	✓	●	✓	✓
	Modelo comum para a representação de todos os modelos	●	●	●	●	●	●	✓	✓
UNIFICADA	Meta-modelo comum para estabelecer semântica	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	●
FEDERADA	Não há imposição de modelos, idiomas e métodos existentes	✓	✓	●	●	✓	✓	✓	✓
	Adaptação necessária aos requisitos durante o tempo de execução	✓	✓	●	●	✓	✓	✓	✓
	Adaptação dinâmica dos modelos	✓	✓	●	●	✓	✓	✓	✓
Legenda	● Característica ameaçada ✓ Característica preservada								

Figura 39. Abordagens para interoperabilidade (FERNANDES et al., 2020b).

Na **abordagem integrada** a autonomia dos sistemas constituintes é fortemente afetada pela padronização de interfaces e pelo uso de modelos ou meta-modelo comuns. Tais práticas exigem que os SI constituintes sejam forçados a adotar padrões que possam entrar em conflito com seus objetivos individuais. Além disso, deve-se considerar a premissa de que o SI constituinte prioriza a sua meta individual, mesmo que um SoIS pertença a uma única organização.

O exemplo discutido por LEITE (1994) descreve o desafio de lidar com a autonomia entre SI independentes dentro de um dado contexto organizacional. Considera-se que em uma organização específica, um SI apoia as atividades financeiras dos projetos e outro SI apoia a parte física desses projetos. Quando houver a necessidade de interoperar esses SI para realizar uma missão, uma solução técnica seria fornecer uma entrada compartilhada para integrar os sistemas. No entanto, analisando detalhes sobre a organização das tarefas de cada setor ou unidade organizacional, a rotina da primeira equipe se concentra nos contratos com prestadores de serviços. Por outro lado, o gerente de projetos do outro SI trabalha com objetivos financeiros. Neste último caso, o contrato não é uma prioridade. LEITE (1994) conjectura que uma solução para a entrada comum teria problemas de execução devido à cultura dos operadores.

Portanto, essa abordagem exige que os componentes do SI sejam projetados e construídos seguindo um padrão. Para o SoIS, isto pode ser uma limitação, uma vez que neste contexto os sistemas constituintes já existem e pode não ser trivial exigir alguma adequação. Outro ponto importante é que o desenvolvimento evolucionário também é afetado pela abordagem integrada, pois esta característica depende da capacidade do SI constituinte de evoluir à medida que suas necessidades mudam ao longo do tempo. Neste caso, o desenvolvimento evolutivo está sujeito a restrições impostas por padrões e modelos que são considerados nesta abordagem.

Quando um SoIS é projetado, um comportamento emergente é planejado. No entanto, comportamentos não desejáveis podem surgir. Nesse caso, a abordagem integrada pode limitar estes comportamentos não planejados. Se houver alguma alteração nos modelos ou nos padrões, esta alteração deve ser absorvida por todos os SI constituintes, independentemente da alteração estar no objetivo do SoIS ou de qualquer um dos SI. No entanto, isso requer uma coordenação com um certo nível de autoridade no SoIS. Por sua vez, padrões estabelecidos podem resultar na limitação do desenvolvimento evolucionário, bem como na preservação do comportamento emergente planejado, diversidade, conectividade e interdependência. Para um gerente de SoIS, estas consequências podem parecer positivas. No entanto, encontrar um cenário de SoIS neste nível de integração é mais difícil, uma vez que o arranjo é geralmente composto de constituintes na forma de SI existentes.

De fato, uma abordagem integrada torna os constituintes do SI e o SoIS menos sensíveis à mudança porque as características estruturais estabelecidas por esta abordagem não influenciam a conectividade, a interdependência e a dinamicidade. O pertencimento, que está relacionado ao custo-benefício da participação do SI em um SoIS, é afetado positivamente porque a abordagem apresenta modelos estáveis. A diversidade é afetada porque são necessários elementos homogêneos para seguir os padrões e modelos fornecidos. Com a abordagem integrada e a previsibilidade dos fatores de custo-benefício, há maior disponibilidade de recursos (humanos e técnicos) em um SoIS. No entanto, de acordo com CHEN (2017), a abordagem integrada é mais adequada para implantar novos sistemas do que para aplicar a sistemas existentes.

Em uma **abordagem unificada**, as características do SoIS podem ser menos afetadas se a compararmos com a abordagem integrada. No entanto, de acordo com TU et al. (2016), a abordagem unificada não é capaz de representar diretamente as necessidades individuais dos constituintes. Essas restrições podem transpor limites organizacionais e entrar em conflito com objetivos (comportamentos emergentes) do SoIS. De acordo com

CHEN (2017), essa abordagem é adequada para interoperabilidade de rede ou colaboração que busca um melhor entendimento sem a necessidade de grandes alterações em seus próprios modelos. Há uma vantagem em excesso de esforços, custos e modelos de implementação para que a autonomia dos constituintes possa ser preservada. Neste caso, cada SI pode manter as suas características, mas é necessário ter um meta-modelo padrão atualizado para que todos os constituintes possam entender.

Por sua vez, ao manter um meta-modelo atualizado, a tendência é que autonomia, diversidade, conectividade, interdependência, comportamento emergente, dinâmica e desenvolvimento evolucionário de um SoIS sejam preservados. Por outro lado, caso o meta-modelo (ferramenta de representação/equivalência semântica) não estiver atualizado, pode haver implicações para os recursos citados, dada a dificuldade de representar mudanças que emergem (e.g., adaptabilidade à mudança, temporalidade, tecnologias, custos).

A **abordagem federada** é mais flexível, preservando a autonomia, uma vez que os sistemas constituintes são livres para evoluir de acordo com suas necessidades individuais, observando o contexto em que são inseridos bem como as suas restrições. SOARES e AMARAL (2014) discutiram a natureza federalista como característica da interoperabilidade em SI, uma vez que isto pode evitar ou reduzir dificuldades que possam surgir se as organizações tiverem que alterar algum modo de operar os SI.

O desenvolvimento evolucionário dos SI constituintes é um recurso pouco afetado pelas abordagens de interoperabilidade federadas. A dinamicidade e diversidade também são características do SoIS que permanecem preservadas quando são utilizadas abordagens federadas. No entanto, o dinamismo das negociações pode fazer com que a conectividade (que inclui protocolos de comunicação) seja afetada, caso as negociações não abordem todos os problemas que devem ser considerados. Como consequência, o comportamento emergente desejado pode não ser alcançado precisamente devido a falhas de conectividade, que também podem ter implicações na interdependência dos SI.

Em situações críticas, são necessárias respostas rápidas e uma abordagem federada pode não ser capaz de atender a todos os requisitos necessários, ou pode não haver tempo suficiente para a negociação. Por exemplo, um cenário de derramamento de óleo no oceano. Um SoIS sem planos de contingência ativos para incidentes de poluição pode resultar na morte de animais marinhos e de flores. Como a definição de arquitetura de alto nível orienta as atividades de *design* e implementação (P63), nessa etapa se recomenda ainda que o quadro de fatores técnicos (Figura 19) e organizacionais (Figura 21) seja observado.

A fim de se discutir atores e papéis a serem desempenhados no *design* da interoperabilidade em SoIS, recorreu-se aos papéis identificados por MAIER (1998) e aos identificados no estudo longitudinal (Capítulo 3) para adaptá-los ao domínio de SoIS. A definição de papéis em um domínio é importante porque o sucesso da interoperabilidade em SI começa e termina com as pessoas e seus valores, percepções e experiências (SOARES e AMARAL, 2014). Portanto, os papéis definidos nesta pesquisa para descrever a responsabilidades dos *stakeholders* do SoIS envolvem (FERNANDES et al., 2019):

- **Tomador de decisão**. Um ator humano que é beneficiado com o SoIS e decide avançar na competitividade ou minimização do custo total em torno da aliança. Por sua vez, este ator também articula para que *stakeholders* dos SI constituintes tenham interesse em manter os seus sistemas no arranjo;
- **Equipe Central de *Design***. Equipe formada por atores humanos que definem padrões de interface e podem escolhê-los para maximizar as oportunidades a fim de que as organizações encontrem boas estratégias de investimento individualmente;
- ***Designer***. Ator humano que gerencia as interfaces do SoIS, incluindo interconexões físicas ou abstrações de mais alto nível.

Além desses papéis, podem ser considerados:

- ***Stakeholder* dos SI Constituintes**. Proprietários de um SI constituinte, podendo ser uma pessoa, grupo de pessoas ou organização (Tabela 6);
- **Beneficiários e Usuários do SoIS** (P3, P4, P7).

5.8. Ameaças à Validade

Viés na seleção de conceitos e relações: Como principal ameaça à validade, pode-se destacar um possível viés na seleção de conceitos e relações que foram incluídos no modelo. Para reduzir o impacto dessa ameaça, a primeira versão do modelo foi submetida para a apreciação de um especialista em SoIS. O especialista validou os conceitos que foram adotados no modelo, tendo sido considerados relevantes e pertinentes. Quanto às relações, o especialista julgou que estavam alinhadas com a visão da comunidade de pesquisa em SoS/SoIS. Após a apreciação do especialista, o modelo foi submetido para a avaliação, conforme descrito na Seção 5.4.

Uso de Escala de *Likert* para a avaliação do modelo conceitual: A Escala de *Likert* pode estar sujeita a distorções por diversas causas. Os participantes, quando

perguntados, podem evitar o uso de respostas extremas, podem concordar com afirmações apresentadas sem um nível adequado de consciência ou podem se forçar a responder de modo mais favorável. Para reduzir os efeitos, evitou-se utilizar medida que estimulasse a neutralidade do participante.

Perfil dos avaliadores: Essa avaliação ocorreu com um público cujo primeiro grupo foi formado por participantes que em sua maioria (4 alunos) são estudantes de graduação e entre eles apenas (1 aluno) tinham uma noção dos conceitos. Os demais tiveram contato com o tema pela primeira vez. Mesmo não se tratando de profissionais com experiência e domínio no tema de SoIS, a opinião deles é relevante para atestar o quanto o modelo conceitual pode auxiliar no entendimento de um tema emergente para SI e Engenharia de Software para iniciantes no assunto.

Avaliação de confiabilidade: Para reforçar a confiabilidade dos resultados, um especialista em SoIS que não estava envolvido no desenvolvimento do modelo realizou duas avaliações qualitativas sobre: (i) a consistência do modelo no sentido de ser abrangente; e (ii) a exatidão da instanciação do modelo e conclusões tiradas sobre os sistemas serem um SoIS ou não. O especialista atestou a consistência e integridade do modelo, bem como corroborou as conclusões do estudo.

5.9. Considerações Finais

Este capítulo apresentou o modelo conceitual de SoIS juntamente com o método de concepção e avaliação. A fase de concepção foi composta pelas etapas de revisão de literatura, construção e avaliação. Por sua vez, a fase de avaliação foi composta por planejamento, execução, análise dos resultados, refinamento e instanciação do modelo. Por meio da análise dos resultados da avaliação, foi possível perceber que, na percepção dos participantes, o modelo apresenta completude quanto ao objetivo de exaurir os conceitos convenientes ao domínio de SoIS.

Os resultados também apontaram que o modelo é relevante quanto a reunir os elementos importantes e útil no sentido de contribuir para o entendimento do domínio. Com base na avaliação dos participantes, o modelo também se mostrou consistente e adequado para analisar se um arranjo é um SoIS ou não. Porém, mesmo com avaliações positivas, um refinamento foi necessário para tornar o modelo mais atrativo, legível e de fácil compreensão, dado que há muitas entidades e relacionamentos envolvidos.

A percepção holística fornecida pelo modelo conceitual contribuiu para aplicá-lo em dois arranjos de sistemas diferentes e analisar se cada um deles pode ser classificado como

SoIS ou não. Para cada arranjo, foi apresentado o domínio e foram discutidas metas individuais, interdependências e *links* de interoperabilidade (Figura 33 e Figura 34). Como contribuição, um conjunto dos principais conceitos, elementos e relacionamentos do domínio de SoIS que pode ser útil para criar alianças interorganizacionais foram identificados e reunidos em um modelo conceitual. Por meio do estudo conduzido nesta fase, foram produzidos um guia de utilização do modelo e diretrizes para o *design* de *links* de interoperabilidade em SoIS.

Capítulo 6. Conclusão

Esse capítulo descreve as considerações finais desta dissertação (Seção 6.1), bem como as contribuições desta pesquisa (Seção 6.2). Algumas limitações observadas ao longo do processo de discussão dos resultados são descritas na Seção 6.3. Por fim, são relatadas as possibilidades de trabalhos futuros (Seção 6.4).

6.1 Conclusões

A partir da análise dos resultados obtidos nessa dissertação, pode-se entender um SoIS como uma aliança entre organizações que reúnem SI independentes para realizar objetivos que não podem ser alcançados por um constituinte isoladamente. Esse tipo de arranjo não é formado por componentes, subsistemas ou software destinados a cumprir metas globais. SoIS é formado essencialmente por SI com autonomia indicando que os elementos em volta destes SI (pessoas, tecnologia e processos) devem ser considerados.

Para investigar como apoiar as colaborações em torno da interoperabilidade em SoIS, alguns estudos foram realizados. Os principais elementos e relações que caracterizam a interoperabilidade em SoIS foram agrupados em um modelo conceitual para formalizar e auxiliar no entendimento deste domínio que é um tema emergente em SI e na Engenharia de Software. Fatores técnicos, humanos e organizacionais que influenciam positiva e negativamente a interoperabilidade em SoIS foram identificados. Abordagens para o *design* de *links* de interoperabilidade que são adequadas foram discutidas por meio de diretrizes que apoiam a concepção de um arranjo de SoIS.

O modelo conceitual de SoIS é uma contribuição importante para comunidade de pesquisa, uma vez que não foi identificado um modelo conceitual específico para SoIS na literatura científica até então. O reconhecimento de um SoIS pode permitir que gerentes vislumbrem novos serviços e possibilidades de negócios, sistematizando não apenas a concepção e caracterização de um SoIS, mas também indicando desafios e avanços que podem contribuir com a engenharia de SoIS.

Os resultados desta pesquisa podem ser usados por gerentes de SoIS como apoio a decisões sobre caminhos a serem seguidos para alcançar necessidades comerciais específicas. Estabelecer *links* de interoperabilidade entre SI independentes em um SoIS traz benefícios para organizações à medida que permite a ampliação de possibilidades de negócios sem abdicar da autonomia gerencial e operacional dos SI. No entanto, o

comportamento emergente influenciado pela evolução dos constituintes exige do *stakeholder* do SoIS constantes análises e avaliações para que o arranjo se mantenha.

Um *link* de interoperabilidade malsucedido em um SoIS pode ter consequências que vão além de questões técnicas e envolver finanças, usuários, legislação, dentre outras. Portanto, um conjunto de fatores técnicos, humanos e organizacionais que influenciam a interoperabilidade pode auxiliar gerentes a entenderem como dadas escolhas ou estratégias podem afetar a formação e/ou operação de um SoIS.

6.2. Contribuições

6.2.1. Principal Contribuição

Esta dissertação contribui com: (a) a identificação de fatores técnicos, humanos, organizacionais que influenciam a interoperabilidade no domínio de SoIS, com base em estudos secundários; (b) a identificação de desafios de interoperabilidade na prática, com base na pesquisa de opinião com especialistas; (c) um modelo conceitual para ajudar os pesquisadores e profissionais a entenderem melhor os elementos de SoIS e suas relações, com base nos estudos de revisão da literatura, mapeamentos e pesquisa de opinião; (d) a avaliação do modelo de SoIS e instanciação de dois diferentes arranjos de sistemas; e (e) a elaboração de diretrizes para apoiar as atividades do *design* de *links* de interoperabilidade em SoIS.

Esta pesquisa forneceu à comunidade SI e Engenharia de Software as seguintes contribuições detalhadas:

- Revisão da literatura (Capítulo 2): Organização e descrição de conceitos que servem como base para pesquisas relacionadas ao domínio de SoS/SoIS (Seção 2.1), Interoperabilidade (Seção 2.2) e Interoperabilidade em SoIS (Seção 2.3);
- Dois estudos secundários (Capítulo 3): Identificação de fatores de influência para interoperabilidade por meio de um mapeamento sistemático (Seção 3.1); e um estudo longitudinal que estendeu o mapeamento realizado e aprofundou a discussão de 10 fatores técnicos, humanos e organizacionais que influenciam a interoperabilidade em SoIS (Seções 3.2 e 3.3);
- Pesquisa de opinião (Capítulo 4): Identificação de quatro categorias de desafios de interoperabilidade na prática com base em uma pesquisa de opinião com especialistas que atuam em sua maioria na indústria (Seção 4.4). A descrição detalhada do método de análise qualitativa para análise dos

resultados e os dados da pesquisa (Apêndice IV) são contribuições para que outros estudos desta natureza sejam realizados (Seção 4.3);

- Modelo conceitual (Capítulo 5): Concepção de um modelo conceitual para auxiliar pesquisadores do domínio de SoS/SoIS e/ou gestores a compreenderem os elementos e suas relações sobre a interoperabilidade de SI. A elaboração de um guia de utilização básica do modelo também é uma contribuição (Seção 5.5).
- Diretrizes para o *design* de *links* de interoperabilidade em SoIS (Seções 5.6 e 5.7): Um conjunto de diretrizes elaboradas com base nos fatores de influência e nos produtos gerados pela pesquisa de opinião.

6.2.2. Publicações

As atividades realizadas no mestrado produziram as seguintes publicações:

- **Estudo exploratório de fatores técnicos, humanos e organizacionais de ecossistemas de software no SIGA:** Esse artigo foi produzido nas fases iniciais da pesquisa quando o objetivo foi obter maior compreensão do domínio de interoperabilidade e SoIS. O estudo foi publicado na trilha de Pôsteres e Demonstrações do XVI Simpósio Brasileiro sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (IHC) (FERNANDES e SANTOS, 2017a);
- ***Exploratory study on interoperability in the SIGA ecosystem: An analysis of the dimensions of ePing***: Esse artigo foi produzido nas fases iniciais da pesquisa quando o objetivo foi obter maior compreensão sobre o que são arranjos de SoIS. O estudo foi publicado no VIII Workshop de Aspectos da Interação Humano-Computador na Web Social (WAIHCWS) (FERNANDES e SANTOS, 2017b);
- **Uma técnica para o tratamento de fatores de ecossistema aplicáveis a SIs interoperáveis com base no ePING**: Esse artigo foi produzido na fase de definição de uma proposta de pesquisa. O artigo foi publicado no XI Workshop de Teses e Dissertações em Sistemas de Informação (WTDSI) (FERNANDES e SANTOS, 2018);
- ***Interoperability in Systems-of-Information Systems: A Systematic Mapping Study***: Esse artigo foi produzido com os resultados do estudo de mapeamento sistemático da literatura que foi conduzido para a identificação de fatores de influência para interoperabilidade em SoIS. O artigo foi

publicado no XVII Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software (SBQS) (FERNANDES et al., 2018);

- ***A conceptual model for Systems-of-Information Systems****:* Esse artigo foi produzido na fase da concepção do modelo conceitual de SoIS. Esse artigo foi publicado na *International Conference on Information Reuse and Integration for Data Science* (IEEE IRI) (FERNANDES et al., 2019);
- ***How can interoperability impact on Systems-of-Information Systems characteristics?*:** Esse artigo foi produzido na fase da produção de diretrizes para o *design* de interoperabilidade, quando foram discutidas as abordagens adequadas para lidar com a interoperabilidade em SoIS. O artigo foi publicado no XVI Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI) (FERNANDES et al., 2020b).
- ***KIPO Opportunities for Interoperability Decisions in Systems-of-Information Systems in the Domain of Environmental Management*:** Esse artigo foi produzido durante o segundo ano da pesquisa quando foi necessário caracterizar um cenário real para lidar com a interoperabilidade em SoIS. O artigo foi publicado na série Springer Communications in Computer and Information Science (CCIS) (FERNANDES et al., 2020a).

6.3. Limitações

Algumas limitações foram identificadas considerando a execução dos estudos de mapeamento sistemático, pesquisa de opinião com especialistas em interoperabilidade, desenvolvimento do modelo conceitual e avaliação da adequabilidade. As principais limitações são descritas nessa seção.

Por se tratar de um tema em amadurecimento, a pesquisa não envolveu uma proposta de solução que contemplasse o desenvolvimento de uma ferramenta de software. A avaliação do modelo não foi realizada à exaustão, visto que o ideal deveria ser instanciar o modelo em diversos cenários e na presença de diversos *stakeholders*. Assim, os resultados são indicações e não podem ser generalizados, pois podem variar de acordo com a percepção de quem analisa os dados dos SI constituintes.

Ainda em relação à avaliação do modelo conceitual, o grupo de participantes do minicurso do SBSI 2019 que consistiu em apenas cinco pessoas representou um número muito pequeno para uma avaliação consistente. Além disso, a grande maioria (4) teve contato com o tema pela primeira vez, ficando difícil receber um *feedback* mais

consistente. Porém, o grupo de participantes do Lab-ESC pode minimizar esta limitação uma vez que houve *feedbacks* consistentes e significantes para o refinamento do modelo conceitual, por parte de onze participantes.

Esta pesquisa se concentrou no fato de que a identificação de fatores de influência para o *design* de interoperabilidade em SoIS pode ajudar gestores a melhor conduzirem as ações relacionadas à formação de arranjos dinâmicos de SI. De fato, na prática, *stakeholders* ainda não estão familiarizados com o conceito SoIS e o que pode representar nos locais de trabalho devido à novidade deste tópico de pesquisa. Devido a isso, a pesquisa de opinião realizada com profissionais de interoperabilidade da indústria não pode ter sido feita mencionando o termo "SoIS". Por fim, uma limitação se refere à falta de avaliação presencial em cenários reais aplicando as diretrizes para o *design* de interoperabilidade em SoIS. No entanto, estas limitações representam trabalhos futuros que podem ser conduzidos para contemplar as lacunas mencionadas.

6.4. Trabalhos Futuros

Algumas oportunidades foram identificadas nesta dissertação:

- Investigação de estratégias que apoiem recomendações para estabelecer *links* de interoperabilidade em SoIS com base nos 10 fatores de influência;
- Identificação do grau de interdependência dos SI constituintes de um SoIS para apoiar a investigação de impactos para o cumprimento dos objetivos do arranjo;
- Identificação das sequências de funcionalidades implementadas nos SI que originam comportamentos emergentes no SoIS;
- Investigação de estratégias que apoiem e incentivem organizações a manterem os seus SI constituintes operando em prol dos objetivos do SoIS;
- Investigação de como apresentar benefícios individuais para *stakeholders* dos SI constituintes a fim de atrai-los ou convidá-los a dispor seus SI para um SoIS.
- Construção de uma ferramenta que reflita cenários que possam tornar a análise da interoperabilidade mais aderente e atraente a contextos reais de negócios.

Em resumo, SoIS é um tema emergente para a área de SI e Engenharia de Software. Como tal, várias questões ainda precisam ser pesquisadas com maior profundidade. Esta pesquisa investigou uma das lacunas relacionadas à formalização da caracterização do domínio de SoIS e o papel crítico da interoperabilidade. Com isso, pode-se discutir particularidades relacionadas ao estabelecimento de *links* de interoperabilidade nesse domínio.

Referências

AFOUTNI, Z., MOULIN, C., ABEL, M.-H., *et* al., 2018, "A system of information systems to capitalize resources of collaborative activities: The ECOPACK project". In: *13th Annual Conference on System of Systems Engineering*, pp. 82–88, Paris, Jun.

ALAMPALLI, S., PARDO, T., 2014, "A study of complex systems developed through public private partnerships". In: *Proceedings of the 8th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance*, pp. 442-445, Guimarães, Oct.

ALBA, A., BHAGWAN, V., GRANDISON, T., 2008, "Accessing the Deep Web: When Good Ideas Go Bad". In: *Companion to the 23rd ACM SIGPLAN Conference on Object-oriented Programming Systems Languages and Applications*, pp. 815–818, Nashville, Oct.

ALBERINI, A. V., PFAMMATTER, V., 2019. "Blockchain and Data Protection", *Blockchains, Smart Contracts, Decentralised Autonomous Organisations and the Law*. Edward Elgar Publishing.

ALI, B., MAJD, S., MARIE-HÉLÈNE, A., *et al*., 2017, "Recommendation of Pedagogical Resources Within a Learning Ecosystem". In: *Proceedings of the 9th International Conference on Management of Digital EcoSystems*, pp. 14–21, Bangkok, Nov.

ASUNCION, C. H., VAN SINDEREN, M. J., 2010, "Pragmatic interoperability: A systematic review of published definitions". In: *IFIP International Conference on Enterprise Architecture, Integration and Interoperability*. Springer Berlin, p. 164-175.

AUBERT, B., VANDENBOSCH, B., MIGNERAT, M., 2003, "Towards the measurement of process integration", *CIRANO Working Papers, University of Montréal*, v. 3, n. 6.

BARBOSA, O., SANTOS, R. P, VIANA, D., 2017, "EvidenceSET: A Tool for Supporting Analysis of Evidence and Synthesis of Primary and Secondary Studies". In: *Anais do VIII Congresso Brasileiro de Software: Teoria e Prática, Sessão de Ferramentas*, pp. 73–80, Fortaleza, Sep.

BASILI, V. R., 1992, "Software Modeling and Measurement: The Goal/Question/Metric Paradigm". *University of Maryland at College Park, College Park*, MD, USA.

BASS, L., CLEMENTS, P., KAZMAN, R., 2003, *Software architecture in practice*.

Addison-Wesley Professional.

BEALE, T., 2011, "Health Information Standards Manifesto". http://workflow.healthbase.info/monographs/Tom_Beale_his_manifesto.pdf. Acesso: 08/10/2019.

BELLI, L., FODITSCH, N., 2016, "Network Neutrality: An Empirical Approach to Legal Interoperability". In: *Net Neutrality Compendium*, Springer International Publishing, pp. 281–298.

BENSON, T., GRIEVE, G., 2016, "Why Interoperability Is Hard". In: *Principles of Health Interoperability*, Springer International Publishing, pp. 19–35.

BERRE, A.-J., ELVESÆTERN, B., FIGAY, N. *et al.*, 2007, "The ATHENA Interoperability Framework", *Enterprise Interoperability II*, pp. 569–580.

BILLAUD, S., DACLIN, N., CHAPURLAT, V., 2015, "Interoperability as a key concept for the control and evolution of the system of systems (SoS)". In: *Lecture Notes in Business Information Processing*, v. 213, pp. 53–63.

BOARDMAN, J., SAUSER, B., 2006, "System of Systems - The meaning of of". In: *IEEE/SMC International Conference on System of Systems Engineering*, Los Angeles, Apr.

BOEHM, B., 2006, "A view of 20th and 21st century software engineering". In: *Proceedings of the 28th international conference on Software engineering*, pp. 12-29, Shanghai, May.

BOSCARIOLI, C., ARAUJO, R. M., MACIEL, R. S. P., 2017, "*I Grand Research Challenges in Information Systems in Brazil 2016-2026*". 1ª ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 184p.

BROWN, A. 2010, "Human interoperability and building partnership capacities: Introduction to human interoperability", *Human interoperability and net-centric series*. Washington, DC: National Defense University.

BUSINESS DICTIONARY. "Word Definition: Knowledge Base", WebFinance, Inc. Disponível em: http://www.businessdictionary.com/definition/knowledge-base.html. Acesso em: 12/11/2019.

BUSSE, S., KUTSCHE, LESER, U., 1999, "Federated Information Systems: Concepts, Terminology and Architectures", *Technical Report Forschungsberichte des Fachbereichs Informatik*, Technische Universität Berlin, v. 99, n. 91, pp. 1–38.

CAIRE, P., GENON, N., HEYMANS, P. et al., 2013, "Visual notation design 2.0: Towards user comprehensible requirements engineering notations". In: *IEEE International Requirements Engineering Conference*, pp. 115-124, Rio de Janeiro,

May.

CBOK, BPM, 2009, “Guide to the business process management common body of knowledge versão 2.0”, Disponível em: http://www.abpmp.org. Acesso em 25/11/2019.

CERNY, T., DONAHOO, M. J., TRNKA, M., 2018, “Contextual Understanding of Microservice Architecture: Current and Future Directions”, *ACM SIGAPP Applied Computing Review*, v. 17, n. 4, pp. 29–45, Jan.

CHANSON, M., BOGNER, A., BILGERI, D., et al., 2019, “Privacy-Preserving Data Certification in the Internet of Things: Leveraging Blockchain Technology to Protect Sensor Data”, *Journal of the Association for Information Systems*, v.20, pp. 1274 – 1309.

CHEN, D., 2017, “Framework for enterprise interoperability”, *Enterprise Interoperability: INTEROP-PGSO Vision*. Eds B. Archimède and B. Vallespir, v.1, pp. 1-18. DOI: https://doi.org/10.1002/9781119407928.ch1.

CHEN, D., DOUMEINGTS, G., 2004, “Basic concepts and approaches to develop interoperability of enterprise applications”. In: *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, v. 134. Springer, pp. 323-330. DOI: https://doi.org/10.1007/978-0-387-35704-1_34.

CHEN, D., DOUMEINGTS, G., VERNADAT, F., 2008, “Architectures for enterprise integration and interoperability: Past, present and future”, *Computers in Industry*, v. 59, n. 7, pp. 647–659. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compind.2007.12.016.

CIOBANU, R., TĂBUŞCĂ, V., DOBRE, C. *et* al., 2019, “Avoiding Data Corruption in Drop Computing Mobile Networks”, *IEEE Access*, v. 7, pp. 31170–31185. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2903018.

CORBIN, J., STRAUSS, A., 2014, “Basics of Qualitiative Research: Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory”, *Sage publications.*

CORDEIRO, F., SANTOS, R. P., 2019, “Systems Thinking as a Resource for Supporting Accountability in System-of-Information-Systems: Exploring a Brazilian School Case”. In: *IEEE/ACM 7th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and 13th Workshop on Distributed Software Development, Software Ecosystems and Systems-of-Systems*, pp. 42–49, Montreal, May. DOI: https://doi.org/10.1109/SESoS/WDES.2019.00014.

DAHMANN, J. S., BALDWIN, K. J., 2008, “Understanding the current state of US defense systems of systems and the implications for systems engineering”. In: *2nd Annual IEEE Systems Conference*, pp. 1–7, Montreal, Apr.

DAVENPORT, T. H., 1993, *Process innovation: reengineering work through information technology*. Harvard Business Press.

DELAURENTIS, D., 2007, "System of systems definition and vocabulary". In: *School of Aeronautics and Astronautics*, Purdue University.

DIAS-NETO, A. C., SPÍNOLA, R. O., TRAVASSOS, G. H., 2010, "Developing software technologies through experimentation: Experiences from the battlefield". In: *XIII Ibero-American Conference on Software Engineering*, Cuenca, Oct.

DIIRR, B., SANTOS, G., 2019, "A systematic literature mapping on interorganizational information systems". In: *25th Americas Conference on Information Systems*, Cancun, Aug.

DOD, US., 2008, *Systems Engineering Guide for Systems of Systems (Version 1.0)*. In: US Department of Defense, Office of the Deputy Under Secretary of Defense for Acquisition and Technology, Washington, DC.

FAPOHUNDA, T., 2013, "Towards Effective Team Building in the Workplace", *International Journal of Education and Research*, v. 1, n. 4, p. 1-12.

FERNANDES, J., BAIÃO, F., SANTOS, R. P. dos, 2020a, "KIPO Opportunities for Interoperability Decisions in Systems-of-Information Systems in the Domain of Environmental Management". In: *Communications in Computer and Information Science*, Springer International Publishing, v. 1081, pp. 01–21. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-46130-0_2.

FERNANDES, J., FERREIRA, F., CORDEIRO, F., *et al*., 2019, "A conceptual model for systems-of-information systems". In: *IEEE 20th International Conference on Information Reuse and Integration for Data Science*, pp. 364–371, Los Angeles, Aug.

FERNANDES, J., FERREIRA, F., CORDEIRO, F., *et al*., 2020b, "How can interoperability impact on systems-of-information systems characteristics?". In: *XVI Brazilian Symposium on Information Systems*. New York: ACM.

FERNANDES, J., GRACIANO NETO, V. V., SANTOS, R. P., 2018, "Interoperability in systems-of-information systems: A systematic mapping study". In: *Proceedings of the 17th Brazilian Symposium on Software Quality*, pp. 131–140, Curitiba, Oct. DOI: https://doi.org/10.1145/3275245.3275259.

FERNANDES, J., SANTOS R. P., 2017a, "Estudo exploratório de fatores técnicos, humanos e organizacionais de ecossistemas de software no SIGA". In: *16th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*, pp. 80–81, Joinville, Oct.

FERNANDES, J., SANTOS R. P., 2017b, “Exploratory study on interoperability in the SIGA ecosystem: An analysis of the dimensions of ePing”. In: *VIII Workshop sobre Aspectos da Interação Humano-Computador para a Web Social*, pp. 13-24, Joinville, Oct.

FERNANDES, J., SANTOS, R. P., 2018, “Uma técnica para tratamento de fatores de ecossistema aplicáveis a SIs interoperáveis com base no ePING”. In *Workshop de Teses e Dissertações do Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação e XIV Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação*, pp. 138-141, Caxias do Sul, Jun.

GONCALVES, M., CAVALCANTE, E., BATISTA, T., *et al*., 2014, “Towards a Conceptual Model for Software-Intensive System-of-Systems”. In: *Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, San Diego, Oct.

GOROD, A., SAUSER, B., BOARDMAN, J., 2008, “System-of-systems engineering management: A review of modern history and a path forward,” *EEE Systems Journal*, v. 2, n. 4 (Dez), pp. 484–499.

GRACIANO NETO, V. V., ARAUJO, R., SANTOS, R. P., 2017a, “New challenges in the social web: Towards systems-of-information systems ecosystems”. In: *VIII Workshop sobre Aspectos da Interação Humano-Computador para a Web Social*, pp. 1–12, Joinville, Oct.

GRACIANO NETO, V. V., CAVALCANTE, E., HACHEM, J. EL. *et al.*, 2017b, “On the interplay of business process modeling and missions in Systems-of-Information Systems”. In: *IEEE/ACM Joint 5th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and 11th Workshop on Distributed Software Development, Software Ecosystems and Systems-of-Systems*, pp. 72–73, Buenos Aires, May.

GRACIANO NETO, V. V., MANZANO, W., KASSAB, M. *et* al., 2018, “Model-based Engineering & Simulation of Software-intensive Systems-of-systems: Experience Report and Lessons Learned”. In: *12th European Conference on Software Architecture: Companion Proceedings*, pp. 1-27, Madrid, Sep.

GRACIANO NETO, V. V., OQUENDO, F., NAKAGAWA, E. Y., 2016, “Systems-of-Systems: Challenges for Information Systems Research in the Next 10 Years”. In: *Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação*, pp. 1-3, Florianópolis, May.

GRACIANO NETO, V. V., OQUENDO, F., NAKAGAWA, E. Y., 2017c, “Smart Systems-of-Information Systems: Foundations and an Assessment Model for Research Development”. In: *I Grand Research Challenges in Information Systems*

in Brazil 2016-2026, v.1, *Special Committee on Information Systems*, Brazilian Computer Society (SBC), pp. 13–24.

GREENWOOD, D., SOMMERVILLE, I., 2011, "Responsibility modeling for identifying sociotechnical threats to the dependability of coalitions of systems", pp. 173–178. DOI: https://doi.org/10.1109/SYSOSE.2011.5966593.

HANDLEY, H. A. H., 2014, "A network model for human interoperability", *Human Factors: The Journal of Human Factors and Ergonomics Society*, v. 56, n. 2, pp. 349–360.

HAUN, G. A., 2019, *Formalized Execution of Model Integrated Descriptive Architecture Languages*. In: U.S. Patent Application n. 15/986,630, 02/05/2019.

HEVNER, A. R., MARCH, S. T., PARK, J., et al., 2008, "Design science in information systems research", *Manag. Inf. Syst. Quarterly*, v. 28, n1, pp. 75-105. DOI: DOI: 10.2307/25148625.

HOFMAN, W., 2019, "Toward Large-Scale Logistics Interoperability Based on an Analysis of Available Open Standards", *Enterprise Interoperability VIII*, pp. 249–261.

IEEE, 1990, "IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology", IEEE-STD-610.12-1990.

IEEE, 1992, "Reference model for computing system tool interconnections".

ISO/IEC, 2005, "ISO/IEC 19501: Information Technology – Open Distributed Processing – Unified Modeling Language (UML), Version 1.4.2", Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization (ISO).

ISO/IEC/IEEE, 2011, "Systems and software engineering - Architecture description", ISO/IEC/IEEE 42010:2011(E) (Revision of ISO/IEC 42010:2007 and IEEE Std 1471-2000).

ISO, T. C. e SC, N., 2001, "Health Informatics Profiling Framework", Citeseer.

ISO, T. C., 1999, "ISO 14258: Industrial automation systems and integration - Concepts and rules for enterprise models", ISO/TC 184 SC 5.

JALALI, S., WOHLIN, C., 2012, "Systematic literature studies: database searches vs. backward snowballing". In: *Proceedings of the ACM-IEEE international symposium on empirical software engineering and measurement*, pp. 29–38, Lund, Sep.

JANSEN, S., CUSUMANO, M. A., BRINKKEMPER, S., 2013, *Software ecosystems: analyzing and managing business networks in the software industry*. Edward Elgar Publishing. 344p.

JARDIM-GONÇALVES, R., STEIGER-GARÇÃO, A., 2001, "Putting the pieces together using standards". *Agile Manufacturing: The 21st Century Competitive Strategy*. pp. 735-757. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-008043567-1/50037-1.

JAVANBAKHT, M., REZAIE, R., SHAMS, F., *et al*., 2008, "A New Method for Decision Making and Planning in Enterprises". In: *International Conference on Information and Communication Technologies: From Theory to Applications*, pp. 1–5, Damascus, Apr.

KAJAN, E., 2011, *Electronic Business Interoperability: Concepts, Opportunities and Challenges*, 1 ed. Hershey, PA, USA: IGI Global.

KITCHENHAM, B., CHARTERS, S., 2007, *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering*. In: Technical Report, Ver. 2.3 EBSE, UK.

KITCHENHAM B. A., PFLEEGER, S. L., 2008, "Personal Opinion Surveys". In: *Guide to Advanced Empirical Software Engineering*, F. Shull, J. Singer, and D. I. K. Sjøberg, Springer London, pp. 63–92.

KOHLEGGER, M., MAIER, R., THALMANN, S., 2009, "Understanding Maturity Models". *Results of a structured content analysis*, pp. 51-61.

KOSANKE, K., 2006, "ISO Standards for Interoperability: a Comparison". In: *Interoperability of Enterprise Software and Applications*. Springer, pp 55-64.

KUBICEK, H., CIMANDER, R., 2009, "Three dimensions of organizational interoperability: Insights from recent studies for improving interoperability frameworks", *European Journal of ePractice*, v. 6 (Jan), p. 1-12.

KUZIEMSKY, C. E., WEBER-JAHNKE, J. H., 2009, "An eBusiness-based Framework for eHealth Interoperability", *Journal of Emerging Technologies in Web Intelligence*, v. 1, n. 2 (Oct), pp. 129–136.

LANA, C. A., SOUZA, N. M., DELAMARO, M. E., *et al*., 2016, "Systems-of-systems development: Initiatives, trends, and challenges". In: *42nd Latin American Computing Conference*, pp. 1-12, Valparaiso, Oct.

LAUDON, K., LAUDON, J., 2011, *Essentials of Management Information Systems*. 9 ed, Person Prentice Hall.

LEAL, G., 2019a, *Decision support for interoperability readiness in networked enterprises*. Doctoral dissertation, Université de Lorraine, França.

LEAL, S. C., 2019b, *Influência da governança de TI na capacidade de inovação digital: um estudo de caso*. Dissertação de Mestrado. Escola de Administração de Empresas de São Paulo. Fundação Getulio Vargas.

LEE, J.-C., MYERS, M., 2004, “The challenges of enterprise integration: cycles of integration and disintegration over time”. In: *ICIS 2004 Proc.*, p. 75.

LEITE, J., 1994, “Organização Federativa de Sistemas de Informação”, *Rev. Divulg. da CELEPAR-Informática do Paraná*.

LENZ, R., BEYER, M., A. KUHN, K., 2007, “Semantic Integration in Healthcare Networks”, *Int. J. Med. Inform.*, v. 76, n. 2–3, pp. 201–207.

LEWIS, G. A., MORRIS, E., PLACE, P., 2009, “Requirements engineering for systems of systems”. In: *3rd Annual IEEE Systems Conference*, pp. 247–252.

LITTLEJOHN, S. W., FOSS, K. A., 2010, *Theories of human communication*, Waveland press.

LI, V., LIU, K., LIU, S., 2013, “Semiotic Interoperability - A Critical Step towards Systems Integration”. In: *International Conference on Knowledge Discovery and Information Retrieval and the International Conference on Knowledge, Management and Information Sharing*. pp. 508-513, Vilamoura, Sep.

LI, V., LIU, K., LIU, S., 2015, “Semiotics in interoperation for information systems working collaboratively”. In: *Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management*. v. 454. *Communications in Computer and Information Science*, Springer, pp. 370–386.

LU, Y., PANETTO, H., GU, X., 2010, “Ontology Approach for the Interoperability of Networked Enterprises in Supply Chain Environment”. In: *On the Move to Meaningful Internet Systems*, pp. 229–238, Berlim, Oct.

MACIEL, R. S. P., DAVID, J. M. N., CLARO, D. B., 2017, “Full Interoperability : Challenges and Opportunities for Future Information Systems”. In: *I Grand Research Challenges in Information Systems in Brazil 2016-2026*, v.1, *Special Committee on Information Systems*, Brazilian Computer Society (SBC), pp. 107–118.

MAIER, M. W., 1996, “Architecting principles for systems-of-systems”. In: *INCOSE International Symposium*, pp. 565–567, Boston, Jul.

MAIER, M. W., 1998, “Architecting principles for systems-of-systems”, *Systems Engineering: The Journal of the International Council on Systems Engineering*, v. 1, n. 4, pp. 267–284.

MAJD, S., MARIE-HÉLÈNE, A., ALOK, M., 2015, “An architectural model for system of information systems”. In: *Ciuciu I. et al. (eds) On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2015 Workshops. OTM 2015. Lecture Notes in Computer Science*, v9416. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-26138-

6_44.

MARTÍN-MARTÍN, A., AYLLÓN, J.-M., ORDUÑA-MALEA, E., et al., 2016, "Google Scholar Metrics released: a matter of languages and something else", *EC3 Work.* v. 1., n 22.

MENDES, A. B., 2018, *Mandala - Interoperabilidade baseada em Sistemas de Sistemas no âmbito de Cidades Inteligentes*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Informática e Matemática Aplicada, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

MICHENI, E. M., MUKETHA, G. M., WAMOCHO, L. S., 2014, "A Review of Agent Based Interoperability Frameworks and Interoperability Assessment Models", *Scholars Journal of Engineering and Technology*, v. 2(2B), pp. 291-300.

MINTZBERG, H., WATERS, J. A., 1990, "Tracking Strategy in n Entrepreneurial Firm", *Family Business Review*, v. 3, n. 3, pp. 285-315.

MOLLÉRI, J. S., PETERSEN, K., MENDES, E., 2019, "An Empirically Evaluated Checklist for Surveys in Software Engineering", *Information and Software Technology*, v. 119, pp. 106-240.

MOTTA, R. C., OLIVEIRA, K. M., TRAVASSOS, G. H., 2017, "Rethinking Interoperability in Contemporary Software Systems". In: *Proceedings of the Joint 5th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and 11th Workshop on Distributed Software Development, Software Ecosystems and Systems-of-Systems*, pp. 9–15.

MOURA, I., DOMINGUEZ, C., VARAJÃO, J., 2019, "Information systems project teams: factors for high performance", *Team Performance Management: An International Journal*, v. 25, n. 1(2), p. 69-83.

MYKKÄNEN, J. A., TUOMAINEN, M. P., 2008, "An evaluation and selection framework for interoperability standards", *Information and Software Technology*, v. 50, n. 3, pp. 176–197. DOI: https://doi.org/10.1016/j.infsof.2006.12.001.

NAUDET, Y., LATOUR, T., GUEDRIA, W., *et al.*, 2010 , "Towards a Systemic Formalisation of Interoperability", *Computers in Industry*, v. 61, i. 2 (Feb), pp. 176-185. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compind.2009.10.014.

NCUBE, C., LIM, S. L., 2018, "On systems of systems engineering: A requirements engineering perspective and research agenda". In: *Proceedings of IEEE 26th International Requirements Engineering Conference*, pp. 112-123, Banff Canadá, Aug.

NEVES, V., BERTOLINO, A., ANGELIS, G. DE, *et al.*, 2018, "Do we need new strategies for testing systems-of-systems?". In: *Proceedings of the 6th International*

Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems, pp. 29–32, Gothenburg, May.

NIELSEN, C. B., LARSEN, P. G., FITZGERALD, J., *et al*., 2015, "Systems of systems engineering: Basic concepts, model-based techniques, and research directions", *ACM Computing Surveys (CSUR)*, v. 48, n. 2 (Set), p. 18.

O'BRIEN, J. A., MARAKAS G. M., 2005, *Introduction to information systems*, 13ed. McGraw-Hill/Irwin, New York, USA.

O'BRIEN, J. A., MARAKAS, G. M., 2007, *Management information systems*, 10ed. McGraw-Hill/Irwin, New York, USA.

OLIVÉ, A., 2007, *Conceptual modeling of information systems*. Springer Science & Business Media. Springer, Berlin, Heidelberg. 455p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-39390-0.

OTTINO, J. M., 2004, *Engineering complex systems*, Nature.

PALFREY J., GASSER, U., 2012, *Interop: The Promise and Perils of Highly Interconnected Systems*, New York, Basic Books.

PAUL, A., PAUL, V., 2014, "A Framework for e-Government Interoperability in Indian Perspective", *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications*, v. 6, pp. 582–591.

PAVLOU, P., SINGLETARY, L., 2002, "Empirical Study of Stakeholders Perceived Benefits of Integration Attributes for Enterprise IT Applications". In: *Americas Conference on Information Systems 2002 Proceedings*, p. 358. Dallas, Aug.

PETERSEN, K., VAKKALANKA, S., KUZNIARZ, L., 2015, "Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update", *Inf. Softw. Technol.*, vol. 64, pp. 1–18.

REEVE, J. A., MARK, P. F., THORPE, P. S., 2019, *Automated Integration Testing with Mock Microservices*. In: U.S. Patent Application No. 15/817,364.

REZAEI, R., CHIEW, T. K., LEE, S. P. *et* al., 2014, "A semantic interoperability framework for software as a service systems in cloud computing environments", v. 41, n. 13, pp. 5751–5770.

ROVIRA, C., CODINA, L., GUERRERO-SOLÉ, F., *et al*., 2019, "Ranking by relevance and citation counts, a comparative study: Google Scholar, Microsoft Academic, WoS and Scopus", *Future Internet*, v. 11, n. 9, p. 202. DOI: https://doi.org/10.3390/fi11090202

SALADO, A., 2015, “Abandonment: A natural consequence of autonomy and belonging in systems-of-systems”. In: *10th System of Systems Engineering Conference*, pp. 352–357, San Antonio, May.

SALEH, M., ABEL, M-H., 2015, “Information systems: Towards a system of information systems”. In: *International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management*, pp. 193–200, Lisboa, Nov.

SALEH, M., ABEL, M-H., 2016a, “Moving from Digital Ecosystem to System of Information Systems”. In: *Proc. 20th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design*, pp. 91–96, Nanchang, May.

SALEH M., ABEL, M-H., 2016b, “Resources management and decision support in a system of information systems”. In: *International Conference on Industrial Informatics and Computer Systems*, pp. 1–5. DOI: https://doi.org/10.1109/ICCSII.2016.7462434

SALEH M., ABEL, M-H., 2017, “Modeling and developing a system of information systems for managing heterogeneous resources”. In: *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 2672–2677, Banff, Oct.

SALEH, M., MISSÉRI, V., ABEL, M-H., 2016, “Managing heterogeneous information in a system of information systems”. In: *8th International Conference on Knowledge Management and Information Sharing*, pp. 165–172, Porto, Nov.

SANTOS, R. P., VIANA, D., MACIEL, C., 2016, “Ecossistemas de Software: Uma Visão sobre Fatores Técnicos, Humanos e Organizacionais”. In: *Livro dos Tutoriais do XV IHC*, 15 ed., SBC, Ed. Porto Alegre, pp. 70-90.

SILVA, E., BATISTA, T., OQUENDO, F., 2015, “A mission-oriented approach for designing system-of-systems”. In: *10th System of Systems Engineering Conference*, pp. 346–351, San Antonio, May. DOI: https://doi.org/10.1109/SYSOSE.2015.7151951.

SITTON, M., REICH, Y., 2015, “Enterprise Systems Engineering for Better Operational Interoperability”, *Systems Engineering*, v. 18, n. 6, pp. 625–638. DOI: https://doi.org/10.1002/sys.21331.

SOARES, D., AMARAL, L., 2014, “Reflections on the concept of interoperability in information systems”. In: *Proceedings of the 16th International Conference on Enterprise Information Systems*, pp. 331–339, Lisboa, Aug.

SOBKOWSKI, I., FREEDMAN, R. S., 2013, “The Evolution of Worker Connect: A Case Study of a System of Systems”, *Journal of Technology in Human Services*, v. 31, n. 2, pp. 129–155. DOI: https://doi.org/10.1080/15228835.2013.772010.

SPADINI, D., ANICHE, M., BRUNTINK, M., *et* al., 2019, "Mock Objects for Testing Java Systems", *Empirical Software Engineering*, v. 24, n. 3 (Jun), pp. 1–38. DOI: https://doi.org/10.1007/s10664-018-9663-0.

TEIXEIRA, P. G., LOPES, V. H., SANTOS, R. P. dos, *et al*., 2019, "The status quo of systems-of-information systems". In: *IEEE/ACM 7th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and 13th Workshop on Distributed Software Development, Software Ecosystems and Systems-of-Systems*, pp. 34-41, Montreal, May.

TU, Z., ZACHAREWICZ, G., CHEN, D., 2016, "A federated approach to develop enterprise interoperability", *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 27, pp. 11–31. DOI: https://doi.org/10.1007/s10845-013-0868-1.

ULLBERG, J., CHEN, D., JOHNSON, P., 2009, "Barriers to enterprise interoperability". In: *Lecture Notes in Business Information Processing. Enterprise Interoperability*, Springer Berlin Heidelberg, v. 38, pp. 13–24.

VALLE, P. H. D., GARCÉS, L., NAKAGAWA, E. Y., 2019, "A typology of architectural strategies for interoperability". In: *Proceedings of the XIII Brazilian Symposium on Software Components, Architectures, and Reuse*, pp. 3–12, Salvador, Sep.

VERNADAT, F. B., 2010, "Technical, Semantic and Organizational Issues of Enterprise Interoperability and Networking", *Annual Reviews in Control*, v. 34, n. 1 (Apr), pp. 139–144.

WEICHHART, G., WACHHOLDER, D., 2014, "On the Interoperability Contributions of S-BPM". In: *Lecture Notes in Business Information Processing. S-BPM ONE - Scientific Research*, v. 170. Springer International Publishing, pp. 3-19.

WESTLEY, F. R., 1990, "Middle managers and strategy: Microdynamics of inclusion", *Strategic Management Journal*, v. 11, n. 5, pp. 337–351. DOI: https://doi.org/10.1002/smj.4250110502.

YAHIA, E., YANG, J., AUBRY, A., *et al.*, 2009, "On the use of description logic for semantic interoperability of enterprise systems". In: *OTM Confederated International Conferences*, pp. 205–215, Berlim, Nov.

ZHU, L., WU, Y., GAI, K. *et* al., 2019, "Controllable and trustworthy blockchain-based cloud data management", *Future Generation Computer Systems*, v. 91, pp. 527–535. DOI: https://doi.org/10.1016/j.future.2018.09.019.

Apêndice I. Glossário de Termos

Interoperabilidade	A capacidade de dois (ou mais) sistemas trocarem informações e usarem as informações que foram trocadas.
Interoperação	A troca efetiva e o uso de informações entre dois sistemas. Requer interoperabilidade.
Interoperar	O ato para realizar interoperações.
Interoperável	Um sistema que pode interoperar com outros sistemas sem sua auto-degradação.
Link de Interoperabilidade	Modo ou meio pelo qual a interoperabilidade entre SI é efetivada.
Constituinte	Um elemento Sistema de Informação que pode interoperar com outros dentro de um arranjo de sistemas.
Sistemas de Informação	Qualquer combinação organizada de pessoas, hardware, software, comunicações, redes e recursos de dados que coletam, transformam e disseminam informações em um contexto organizacional.
Sistema de Informação Constituinte	Um sistema de informação que faz parte de um arranjo de sistemas específico.
Sistemas-de-Sistemas de Informação	Uma aliança entre várias organizações que reúnem seus sistemas de informação para interoperarem em prol de objetivos que não podem ser alcançados por um constituinte isoladamente.

Apêndice II. Dados do MSL

1. **Fontes de Busca**
    - ACM Digital Library (http://portal.acm.org)
    - El Compendex (http://www.engineeringvillage.com)
    - IEEE Digital Library (http://ieeexplore.ieee.org)
    - Google Scholar (https://scholar.google.com.br)
    - Science Direct (http://www.sciencedirect.com)
    - Scopus (http://www.scopus.com)
2. **Critérios de Seleção**

    2.1 Critérios de Inclusão

    - O artigo propõe solução de interoperabilidade em sistemas de informação
    - O artigo avalia interoperabilidade em sistemas de informação
    - O artigo avalia interoperabilidade em sistemas de informação com vistas aos SoIS
    - O artigo considera fatores/elementos que influenciam a interoperabilidade em sistemas de informação

    2.2 Critérios de Exclusão

    - O artigo não aplica a solução de interoperabilidade proposta
    - O artigo não está disponível para *download* abertamente e o IP institucional dos pesquisadores não dá acesso à biblioteca. Ou ainda não houve resposta por parte dos autores ao pedido de artigo que não se teve acesso
    - Artigo similar a outro que reporta os mesmos resultados, no qual o mais recente é base para a análise
    - O artigo é um prefácio, livro, editorial, resumo, pôster, painel, palestra, mesa redonda, oficina ou demonstração
3. ***Checklist* de avaliação da qualidade**

    3.1 Questões:

    - O artigo define claramente o objetivo da pesquisa (define questão de pesquisa)?
    - O artigo apresenta claramente o contexto no qual foi aplicada a solução de interoperabilidade?
    - O artigo deixa claro que dimensão de interoperabilidade foi contemplada?

- O artigo relata fatores que influenciaram na solução de interoperabilidade proposta?

3.2 Respostas

- Sim
- Parcialmente
- Não

4. Formulário de Extração de Dados

- identificador do artigo
- título
- fonte (e.g., periódico, conferência)
- ano de publicação
- autores
- tipo de solução
- domínio de aplicação
- contexto
- dimensão contemplada
- fatores que influenciam interoperabilidade segundo os autores

5. Condução do Estudo

***Strings* de Busca da Biblioteca Digital Scopus:**
(TITLE-ABS-KEY ("interoperability") AND TITLE-ABS ("information systems" OR "system of information systems")) AND (TITLE-ABS-KEY ("standard" OR "pattern" OR "model" OR "method" OR "technique" OR "requirement" OR "technology" OR "technologies" OR "tool" OR "factor" OR "dimension")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "COMP")) AND (LIMIT-TO(PUBYEAR,2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2016) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2015) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2014) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2013) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2012) OR LIMIT-TO(PUBYEAR,2011) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2010) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2009) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2008) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English"))

6. Estudos Selecionados

E1 **Using Semantic Values to Facilitate Interoperability Among Heterogeneous Information Systems**. Autores: E. Sciore, M. Siegel, A. Rosenthal. In ACM Transactions on Database Systems, v 19(2), pp. 254-290 (1994)

E2 **The ATHENA Interoperability Framework**. Autores: A-J. Berre, B Elvesæter, N. Figay, C. Guglielmina, S. G. Johnsen, D. Karlsen, T. Knothe, S. Lippe. In: Gonçalves R.J., Müller J.P., Mertins K., Zelm M. (eds) Enterprise Interoperability II, Springer, London, pp. 569-580 (2007)

E3 **A knowledge-based approach to manage information systems interoperability**. Autores: J. Ralyté, M. A. Jeusfeld, P. Backlund, H. Kühn, N. Arni-Bloch. In Information Systems, 33(7-8), pp. 754-784 (2008)

E4 **An approach for enterprise interoperability measurement**. Autores: D. Chen, B. Vallespir, N. Daclin. In International Workshop on Model Driven Information Systems Engineering: Enterprise, User and System Models, v 341, pp. 1-12 (2008)

E5 **An evaluation and selection framework for interoperability standards**. Autores: J. A. Mykkänen, M. P. Tuomainen. In Information and Software Technology, v 50(3), pp. 176-197 (2008)

E6 **Methodology for Enterprise Interoperability**. Autores: N. Daclin, D. Chen, B. Vallespir. In Proceedings International Federation of Automatic Control, v 41(2), pp. 12873-12878 (2008)

E7 **A development framework for semantically interoperable health information systems**. Autores: D. M. Lopez, B. G. Blobel. In International Journal of Medical Informatics, v 78(2), pp. 83-103 (2009)

E8 **An interoperation framework for secure collaboration among organizations**. Autores: I. F. Cruz, R. Gjomemo, G. Jarzab. In 3rd ACM International Workshop on Security and Privacy in GIS and LBS, pp. 4-11 (2010)

E9 **Measuring organizational interoperability in practice: The case study of population welfare department of Government of Sindh, Pakistan**. Autores: D. Maheshwari, M. Janssen. In 6th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance, pp. 216-225 (2012)

E10 **Adoption of interoperability standards in government information networks: An initial framework of influence factors**. Autores: F. Henning. In International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance, pp. 264-267 (2013)

E11 **A multi-agent solution for the interoperability issue in health information systems**. Autores: P. Sernani, A. Claudi, L. Palazzo, G. Dolcini, A. Dragoni. In Proceedings of the 14th Workshop From Objects to Agents co-located with the 13th Conference of the Italian Association for Artificial Intelligence, pp. 24-29 (2013)

E12 **Proposal of an interoperability model for social security information systems**. Autores: F. Delgado, S. Otón, R. Ruggia, J. R. Hilera, J. M. Gutiérrez, In 15th International Conference on Enterprise Information Systems, v 2, pp. 451-458 (2013)

E13 **Semiotic interoperability: a critical step towards systems integration**. Autores: W. Li, K. Liu, S. Liu. In 5th International Conference on Knowledge Management and Information Sharing, pp. 508-513 (2013)

E14 **Interoperability between different port information systems**. Autores: M. Abid, B. Nsiri, Y. Serhane. In International Journal of Mathematics and Computers in Simulation, v 8(1):156-161 (2014)

E15 **Development of an adaptation and interface model, for the information systems interoperability**. Autores: B. Riyami, K. Mansouri. In Intelligent Systems and Computer Vision, pp. 1-6 (2015)

E16 **ISER: A Platform for Security Interoperability of Multi-source Systems**. Autores: K. Toumi, F. Autrel, A. Cavalli, S. Haddad. In Risks and Security of Internet and Systems, pp. 230-238 (2015)

E17 **Joint doctrine ontology: A benchmark for military information systems interoperability**. Autores: P. Morosoff, R. Rudnicki, J. Bryant, R. Farrell, B. Smith. In Proceedings of the Tenth Conference on Semantic Technology for Intelligence, Defense, and Security, pp. 2-9 (2015)

E18 **Model of an adaptation and interfacing SOA middleware for the information systems interoperability**. Autores: K. Mansouri, B. Riyami, M. Youssfi, O Bouattane. In Journal of Theoretical and Applied Information Technology, v 84(1), pp. 117-126 (2016)

E19 **A conceptual framework for large-scale ecosystem interoperability and industrial product lifecycles**. Autores: M. Selway, M. Stumptner, W. Mayer, G. Grossmann, M Schrefl. In Data and Knowledge Engineering, v 109, pp. 85-111 (2017)

E20 **Semantic interoperability with heterogeneous information systems on the internet through automatic tabular document exchange**. Autores: S. Yang, J. Guo, R. Wei. In Information Systems, v 69, pp. 195-217 (2017)

Apêndice III. Dados do Estudo Longitudinal

1. **Fontes de Busca**
    - ACM Digital Library (http://portal.acm.org)
    - El Compendex (http://www.engineeringvillage.com)
    - IEEE Digital Library (http://ieeexplore.ieee.org)
    - ISI Web of Science (http://www.isiknowledge.com)
    - Science@Direct (http://www.sciencedirect.com)
    - Scopus (http://www.scopus.com)
2. **Critério de Seleção**

    2.1 Critérios de Inclusão:
    - O estudo discute pelo menos dois fatores que influenciam a interoperabilidade
    - O estudo propõe ou aplica solução de interoperabilidade em SoS ou SoIS
    - O estudo propõe ou aplica solução de interoperabilidade em Sistemas Heterogêneos, Sistemas em Larga Escala, Sistemas Adaptativos

    2.2 Critérios de Exclusão:
    - Estudo Secundário
    - Estudo similar a outro que reporta os mesmos resultados
    - O estudo é específico sobre interoperabilidade entre sistemas de banco de dados
    - O estudo menciona interoperabilidade, mas a abordagem não é voltada especificamente para isto
    - O estudo não está disponível para *download*, os autores não responderam ao pedido do estudo ou o IP institucional dos pesquisadores não dá acesso à biblioteca
    - O estudo não foi escrito em inglês
    - O estudo não tem relação direta com o estado da arte de interoperabilidade
    - O estudo propõe solução de interoperabilidade, mas trata de adaptações para um sistema em particular
    - O estudo propõe soluções para subsistemas

- O estudo trata de interoperabilidade de redes/protocolos e não de Sistemas de Informação
- O estudo trata de interoperabilidade entre componentes específicos e não entre Sistemas de Informação
- O resultado é uma errata (Corrigendum)
- O resultado é um prefácio de conferência
- O resultado é um prefácio de editorial

3. *Checklist* de avaliação da qualidade

3.1 Questões:

- O objetivo do estudo foi claramente especificado
- O estudo discute fatores que influenciam positivamente ou negativamente a interoperabilidade?
- O estudo deixa claro que dimensão de interoperabilidade está sendo discutida/contemplada?
- O estudo deixa claro o domínio de negócio no qual a discussão/solução de interoperabilidade está contemplando?

3.2 Respostas:

- Sim
- Parcialmente
- Não

4. Formulário de Extração de Dados

- identificador do artigo
- título
- fonte
- ano de publicação
- autores
- tipo de solução aplicada
- domínio de negócio
- contexto da proposta de solução
- fatores técnicos reportados
- fatores humanos reportados
- fatores organizacionais reportados
- influência dos fatores técnicos discutida
- influência dos fatores organizacionais discutida
- influência dos fatores humanos discutida

5. Condução do Estudo

Strings de Busca da Bibliotecas Digitais

El Compendex:
(“*Interop*”) *AND* (“*systems of system*” *OR* “*systems-of-system*” *OR* “*system of information system*” *OR* “*system-of-information system*” *OR* “*systems of information system**” *OR* “*systems-of-information-system*”)

IEEE Digital Library:
("*Interop**") *AND* ("*systems of system**" *OR* "*systems-of-system**" *OR* "*system of information system**" *OR* "*system-of-information-system**")
AND
("*Interop**") *AND* ("systems of information system*" *OR* "*systems-of-information-system**" *OR* "*Heterogeneous System**" *OR* "*Large Scale System**")
AND
("*Interop**") *AND* ("*Adaptive System**")

Science Direct:
("*Interop*") *AND* ("*systems of system*" *OR* "*systems-of-system*" *OR* "*system of information system*" *OR* "*system-of-information-system*" *OR* "*systems of information system**" *OR* "*systems-of-information-system*")

Scopus:
("*Interop**") *AND* ("*systems of system**" *OR* "*systems-of-system**" *OR* "*system of information system**" *OR* "*system-of-information-system**" *OR* "*systems of information* system*" *OR* "*systems-of-information-system**" *OR* "*Heterogeneous System**" *OR* "*Large Scale System**" *OR* "*Adaptive System**") *AND* (*LIMIT-TO* (*PUBYEAR*, 2020) *OR LIMIT-TO* (*PUBYEAR*, 2019) *OR LIMIT-TO* (*PUBYEAR*, 2018) *OR LIMIT-TO* (*PUBYEAR*, 2017) *OR LIMIT-TO* (*PUBYEAR*, 2016) *OR LIMIT-TO* (*PUBYEAR*, 2015) *OR LIMIT-TO* (*PUBYEAR*, 2014) *OR LIMIT-TO* (*PUBYEAR*, 2013) *OR LIMIT-TO* (*PUBYEAR*, 2012) *OR LIMIT-TO* (*PUBYEAR*, 2011) *OR LIMIT-TO* (*PUBYEAR*, 2010) *OR LIMIT-TO* (*PUBYEAR*, 2009) *OR LIMIT-TO* (*PUBYEAR*, 2008)) *AND* (*LIMIT-TO* (*LANGUAGE*, "*English*"))

6. Quantidade de Estudos Importados

- ACM Digital Library: 131
- El Compendex: 110
- IEEE Digital Library: 633
- ISI Web of Science: 507
- Science@Direct: 112
- Scopus: 4.484

7. Estudos Selecionados

P1 **Interoperability Analysis Method for Mission-Oriented System of Systems Engineering**. Autores: R. Giachetti, S. Wangert, R. Eldred. In EEE International Systems Conference, pp. 1-6 (2019)

P2 **The Business Interoperability Decomposition Framework to analyze buyer-supplier dyads**. Autores: P. Espadinha-Cruz, A. Grilo. In Computers in Industry, v 109, pp. 165-181 (2019)

P3 **Mandala: An agent-based platform to support interoperability in systems-of-systems**. Autores: A. Mendes, S. Loss, E. Cavalcante, F. Lopes, T. Batista. In IEEE/ACM 6th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems, pp. 21-28 (2018)

P4 **Model-based interoperability engineering in systems-of-systems and civil aviation**. Autores: Y. Mordecai, O. Orhof, D. Dori. In IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, v 48(4), pp. 637-648 (2018)

P5 **Model-driven engineering of mediation information system for enterprise interoperability**. Autores: F. Benaben, S. Truptil, W. Mu, H. Pingaud, J. Touzi, V. Rajsiri, J-P. Lorre. In International Journal of Computer Integrated Manufacturing, v. 31 (1), p. 27-48 (2018)

P6 **Dealing with data and software interoperability issues in digital factories**. Autores: N. Bicocchi, G. Cabri, F. Mandreoli, M. Mecella. In Proceedings of the 25th International Conference on Transdisciplinary Engineering, pp. 13-22. (2018)

P7 **An Approach to Integrate Systems Towards a Directed System-of-systems**. Autores: I. Gonalves Vargas, T. Gottardi, R. Braga. In Proceedings of the 12th European Conference on Software Architecture: Companion Proceedings, pp. 1-7. (2018)

P8 **A guidance based-approach for enhancing the e-Government interoperability**. Autores: Y. Jamoussi, Z. Al-Khanjarii, N. Kraiem. In Journal of Information and Organizational Sciences, v 41(1), pp. 35-56 (2017)

P9 **Model-based approaches for interoperability of next generation enterprise information systems: state of the art and future challenges**. Autores: G. Zacharewicz, S. Diallo, Y. Ducq, C. Agostinho, R. Jardim-Goncalves, H.Bazoun, Z. Wang,G. Doumeingts. In Information Systems and e-Business Management v 15, pp. 229–256 (2017)

P10 **On the formal definition of the systems interoperability capability: an anthropomorphic approach**. Autores: M. Zdravkovi, F. Luis-Ferreira, R. Jardim-Goncalves, M. Trajanovi, Enterprise Information Systems, v 11(3), pp. 389-413 (2017)

P11 **The conceptual model to solve the problem of interoperability in health information systems**. Autores: N. Zeinali, A. Asosheh, S. Setareh. In 8th International Symposium on Telecommunications, pp. 684-689 (2017)

P12 **Service-based negotiation for advanced collaboration in enterprise networks.** Autores: C. Coutinho, A. Cretan, C. Silva, P. Ghodous, R. Jardim-Gonçalves. In Journal of Intelligent Manufacturing, v 27, pp. 201–216 (2016)

P13 **Towards a sustainable interoperability in networked enterprise information systems: Trends of knowledge and model-driven technology**. Autores: C. Agostinho, Y. Ducq, G. Zacharewicz, J. Sarraipa, F. Lampathaki,R. Polerd, R. Jardim-Goncalves. In Computers in Industry, v 79, pp. 64-76 (2016)

P14 **Developing enterprise collaboration: a methodology to implement and improve interoperability**. Autores: N. Daclin, D. Chen, B. Vallespir. In Enterprise Information Systems, v 10 (5), pp. 467-504 (2016)

P15 **Supporting interoperability in complex adaptive enterprise systems: A domain specific language approach**. Autores: G. Weichhart, W. Gudria, Y. Naudetc. In Data & Knowledge Engineering, v 105, pp 90-106 (2016)

P16 **A step-by-step methodology for enterprise interoperability projects**. Autores: R. Chalmeta, V. Pazos, In Enterprise Information Systems, v 9(4), pp. 436-464 (2015)

P17 **Conceptual interoperability barriers framework (CIBF): A case study of multi-organizational software development**. Autores: L. Cuenca, A. Boza, A. Ortiz, J. J. M. Trienekens. In Proceedings of the 17th International Conference on Enterprise Information Systems, v 2, pp. 521–531 (2015)

P18 **Semiotics in interoperation for information systems working collaboratively**. Autores: W. Li, K. Liu, S. Liu. In Fred A., Dietz J., Liu K., Filipe J. (eds) Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management. Communications in Computer and Information Science, v 454., pp. 370-386 (2015)

P19 **An architectural model framework to improve digital ecosystems interoperability**. Autores: S. Ostadzadeh, F. S. Aliee, K-b. Badie. In Elleithy K., Sobh T. (eds) New Trends in Networking, Computing, E-learning, Systems Sciences, and Engineering. Lecture Notes in Electrical Engineering, v 312, pp. 513-520 (2015)

P20 **Interoperability as a key concept for the control and evolution of the system of systems (Sos).** Autores: S. Billaud, N. Daclin, C. Vincent. In van Sinderen M.,

Chapurlat V. (eds) Enterprise Interoperability. Lecture Notes in Business Information Processing, v 213, pp. 53-63 (2015)

P21 **Maturity model for enterprise interoperability**. Autores: W. Gudria, Y. Naudet, D. Chen. In Enterprise Information Systems, v 9(1), pp. 1-28, (2015)

P22 **Sustaining interoperability of networked liquid sensing enterprises: A complex systems perspective**. Autores: C. Agostinho, R. Jardim-Goncalves. In Annual Reviews in Control, v 39, pp. 128-143 (2015)

P23 **Reflections on the concept of interoperability in information systems**. Autores: D. Soares, L Amaral. In Proceedings of the 16th International Conference on Enterprise Information Systems, v 3, pp. 331-339 (2014)

P24 **Effect of organizational factors on interoperability adoption for Indian portals**. Autores: R. Tripathi, M. Gupta, J. Bhattacharya. In Transforming Government: People, Process and Policy, v 7(3), pp. 285-308 (2013)

P25 **Complex collaboration, knowledge sharing and interoperability**. Autores: T.J. Marlowe, N. Jastroch, S. Nousala, V. Kirova. In 18th International ICE Conference on Engineering, Technology and Innovation, pp. 1-10 (2012)

P26 **Interoperability dimensions for multimodal mobility management**. Autores: I. Deniaud, S., D. Breuil, P. Le Maguet, J. Lecourt, Claude Pourcel, Jean-Ren Ruault, Alain Somatb. In International Federation of Automatic Control Proceedings, v 45 (6), pp. 1529-1536 (2012)

P27 **A reference model for sustainable interoperability in networked enterprises: Towards the foundation of EI science base**. Autores: R. Jardim-Gonçalves, C. Agostinho, A. Steiger-Garo. In International Journal of Computer Integrated Manufacturing, v 25 (10), pp. 855-873 (2012)

P28 **A language for interoperability modeling and prediction**. Autores: J. Ullberg, P. Johnson, M. Buschle. In Computers in Industry, v 63(8), pp. 766-774 (2012)

P29 **System interoperability: definition and proposition of interface modeling MBSE Context**. Autores: V. Chapurlat, N. Daclin. In International Federation of Automatic Control Proceedings, v 45(6), pp. 1523-1528 (2012)

P30 **Multidisciplinary interoperability for earth observations: Some architectural issues.** Autores: P. Mazzetti. In IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, v 5 (3), pp. 1054-1059 (2012)

P31 **Interoperability Assessment in the Deployment of Technical Processes in Industry**. Autores: C. Cornu, V. Chapurlat, J-M. Quiot, F. Irigoin. In International Federation of Automatic Control Proceedings, v 45 (6), pp. 1246-1251 (2012)

P32 **An architecture for interoperability of enterprise information systems based on SOA and semantic web technologies**. Autores: F. Song, G. Zacharewicz, D. Chen. In 13th International Conference on Enterprise Information Systems, pp.431-437 (2011)

P33 **Towards enhancing interoperability in medical information systems**. Autores: K. Zarour, N. Zarour, P-J. Charrel. In 6th International Symposium on Health Informatics and Bioinformatics, pp. 16-21 (2011)

P34 **Using neighboring domains towards setting the foundations for Enterprise Interoperability science**. Autores: C. Agostinho, R. Jardim-Gonçalves, A. Steiger-garcao. In 15th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Proceedings, v 2, pp. 241-247 (2011)

P35 **Architectures for tinkering? Contextual strategies towards interoperability in E-government**. Autores: R. Klischewsk. In Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research, v 6 (1), pp. 26-42 (2011)

P36 **Interoperability and information brokers in public safety: An approach toward seamless emergency communications**. Autores: A. Kuehn, M. Kaschewsky, A. Kappeler, A. Spichiger and R. Riedl. In Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research, v 6 (1), pp. 43-60 (2011)

P37 **Why is interoperability bad: Towards a paradigm shift in simulation composition**. Autores: S. Y. Diallo, J. J. Padilla, A. Tolk. In Proceedings of the Fall Simulation Interoperability Workshop, p. 20-24 (2010)

P38 **Modeling the linkage between systems interoperability and security engineering**. Autores: E. I. Neaga, M. J. de C. Henshaw. In 5th International Conference on System of Systems Engineering, pp. 1-6 (2010)

P39 **Inter-organization collaboration management in dynamic virtual alliances**. Autores: Y. Wang, J. Zhang, X. Chong, J. Wang. In International Conference on E-Business and E-Government, pp. 42-45 (2010)

P40 **Methodology for prior evaluation of interoperability**. Autores: M. Camara, Y. Ducq, R. Dupas. In Camarinha-Matos L.M., Boucher X., Afsarmanesh H. (eds) Collaborative Networks for a Sustainable World. IFIP Advances in Information and Communication Technology, v 336, pp. 697-704 (2010)

P41 **Is SOA a solution to Healthcare Information Systems interoperability?** Autores: V. Mantzana, K. Koumaditis, M. Themistocleous. In 10th IEEE International Conference on Information Technology and Applications in Biomedicine, pp. 1-4 (2010)

P42 **Smart grid interoperability maturity model**. Autores: S. Wider-gren, A. Levinson, J. Mater, R. Drummond. In IEEE PES General Meeting, pp. 1-6 (2010)

P43 **Towards a systemic formalization of interoperability**. Autores: Y. Naudet, T. Latour, W. Guedria, D. Chen. In Computers in Industry, v 61(2), pp. 176-185 (2010)

P44 **Sustainable systems' interoperability: A reference model for seam-less networked business**. Autores: R. Jardim-Goncalves, A. Steiger-Garcao, C. Agostinho. In IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Istanbul, pp. 1785-1792 (2010)

P45 **Analyzing interoperability requirements for adaptive service-based applications: A goal-oriented approach**. Autores: N. A. Qureshi, C. D. Nguyen, A. Perini. In IEEE 34th Annual Computer Software and Applications Conference Workshops, pp. 239-244 (2010)

P46 **Interoperability Framework for e-Governance (IFEG)**. Autores: Government of India. In Department of Electronics and Information Technology, v1, 54p (2010)

P47 **A framework proposal for seamless interoperability in a collaborative networked environment**. Autores: C. Melania C., A. Azevedo, C. Toscano. In Computers in Industry, v 60(5), pp. 317-338 (2009)

P48 **Interoperability: A reliability challenge across systems and humans illustrated by health care examples**. Autores: G. Muller. In INCOSE International Symposium, 19, pp. 368-377 (2009)

P49 **The levels of conceptual interoperability model: Applying systems engineering principles to M&S**. Autores: W. G. Wang, A. Tolk, W. Wa. In Spring Simulation Multiconference, 168, pp. 1–9 (2009)

P50 **A conceptual framework for business-driven integration**. Autores: U. Barchetti, A. Lisa Guido, L. Mainetti. In International Conference for Internet Technology and Secured Transactions, pp. 1-6 (2009)

P51 **A General Method of Measuring Interoperability and Describing Its Impact on Operational Effectiveness**. Autores: T. C. Ford, J. M. Colombi, D. R. Jacques and S. R. Graham. In Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology, v 6(1), pp. 17–32 (2009)

P52 **Supply chain business patterns definition for process interoperability**. Autores: E. Yahia, M. Bigand, J-P.Bourey, E. Castelain. In International Federation of Automatic Control Proceedings, v 42(4), pp. 169-174 (2009)

P53 **Dynamic business networks: A headache for sustainable systems interoperability**. Autores: C. Agostinho, R. Jardim-Goncalves. In Meersman R., Herrero P., Dillon T. (eds) On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2009 Workshops. Lecture Notes in Computer Science, v 5872, pp. 194–204 (2009)

P54 **Supporting interoperability between web-based educational systems**. Autores: I. I. Bittencourt, E. Costa, L. Braz, H. Pacheco, D. Dicheva. In 39th IEEE Frontiers in Education Conference, pp. 1-6 (2009)

P55 **Barriers to enterprise interoperability**. Autores: J. Ullberg, D. Chen, P. Johnson. In Lecture Notes in Business Information Processing. Enterprise Interoperability, Springer Berlin Heidelberg, v. 38, pp. 13–24 (2009)

P56 **Architectures for enterprise integration and interoperability: Past, present and future**. Autores: D. Chen, G. Doumeingts, F. Verna-dat. In Computers in Industry, v 59(7), pp. 647–659 (2008)

P57 **Why Standards are not Enough to Guarantee End-to-End Interoperability**. Autores: G. A. Lewis, E. Morris, S. Simanta, Lu. Wrage. In 7th International Conference on Composition-Based Software Systems, pp. 164-173 (2008)

P58 **Modeling and analysis of interoperability risk in systems of systems environments**. Autores: B. Anderson, P. Boxer. In The Journal of Defense Software Engineering, 5p. (2008)

P59 **A systemic approach to interoperability formalization**. Autores: Y. Naudet, T. Latour, D. Chen. In International Federation of Automatic Control Proceedings, v 41(2), pp. 11925-11930 (2008)

P60 **An Approach for Enterprise Interoperability Measurement**. Autores: D. Chen, B. Vallespir, N. Daclin. In International Workshop on Model Driven Information Systems Engineering: Enterprise, User and System Models, v 341, pp. 1-12 (2008)

P61 **Model Transformation of Collaborative Business Process into Mediation Information System**. Autores: J. Touzi, F.Benaben, H. Pingaud. In International Federation of Automatic Control Proceedings, v 41(2), pp. 13857-13862 (2008)

P62 **A Framework for Addressing Interoperability Issues**. Autores: R. Ambrosio, S. Widergren. In IEEE Power Engineering Society General Meeting, pp. 1-5 (2007)

P63 **Analyzing Requirements for a Large-Scale System for Cancer Research**. Autores: V. Perrone, A. Finkelstein. In Proceedings of the 20th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems, pp. 103–108 (2007)

P64 **The Missing Link: Culture and Language Barriers to Interoperability**. Autores: L. E. Whitman, H. Panetto, D. Desilva. In Annual Reviews in Control

v 30(2), pp. 233-241 (2006)

P65 **Interoperability among Heterogeneous Services**. Autores: G. Athanasopoulos, A. Tsalgatidou, M. Pantazoglou. In IEEE International Conference on Services Computing, pp. 174-181 (2006)

P66 **Formal framework for semantic interoperability**. Autores: N. Y. Ayadi, M. B. Ahmed, Y. Pollet. In Proceedings of the First International Conference on Software and Data Technologies, v 2, pp. 139-144 (2006)

P67 **Automatic acquisition of a thesaurus of interoperability terms**. Autores: R. Navigli, P. Velardi. In International Federation of Automatic Control Proceedings, v 38(1), pp. 100-105 (2005)

P68 **A Model-based Ontology of the Software Interoperability Problem: Preliminary Results**. Autores: V. Rosener, T. Latour, E. Dubois. In 16th Conference on Advanced Information Systems Engineering, v1, 12p (2004)

P69 **Executing the DoD Modeling and Simulation Strategy Making Simulation Systems of Systems: A Reality**. Autores: J. W. Hollenbach, W. L. Alexander. In Winter Simulation Conference Proceedings, pp. 948-954 (1997)

P70 **An inter-organizational information system design for virtual enterprises**. Autores: P. Fouletier, K. H. Park, J. Favrel. In 6th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation Proceedings, pp. 139-142 (1997)

P71 **Interoperability problems-prevention is better than cure**. Autores: C. J. Rhodes, G. B. Wilson. In International Conference on Information-Decision-Action Systems in Complex Organisations, pp. 138-142 (1992)

P72 **The OSCATM Architecture: Enabling independent product software maintenance**. Autores: J. A. Mills, L. Ruston. In Proceedings Workshop on Real Time, pp. 64-70 (1990)

8. Trabalhos Relacionados

TR-1 **Interoperability assessment: A systematic literature review.** Autores: Gabriel Serapião Leal, Wided Guédriaa, Hervé Panetto. In Computers in Industry, v 106, pp. 111-132 (2019)

TR-2 **Interoperability in systems-of-information-systems: A systematic mapping study.** Autores: Juliana Fernandes, Valdemar V. Graciano Neto, Rodrigo Santos. In Proceedings of the 17th Brazilian Symposium on Software Quality, pp. 131–140 (2018)

TR-3 **A Review of Interoperability issues in Internet of Vehicles (IoV)**. Autores: Shaik Mazhar Hussain, Kamaludin Mohamed Yusof, Shaik Ashfaq Hussain, Eberechukwu N Paulson. In International Journal of Computing and Digital Systems, v 8, pp. 73-83 (2018)

TR-4 **Rethinking Interoperability in Contemporary Software Systems**. Autores: Rebeca Motta, Káthia Oliveira, Guilherme Travassos. In 5th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and 11th Workshop on Distributed Software Development, Software Ecosystems and Systems-of-Systems, pp. 9-15 (2017)

TR-5 **Characterizing Interoperability in Context-Aware Software Systems**. Autores: Rebeca Motta, Káthia Oliveira, Guilherme Travassos. In VI Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering, pp. 203-208 (2016)

TR-6 **Systems-of-systems development: Initiatives, trends, and challenges**. Autores: Cristiane A. Lana, Nilton M. Souza, Márcio E. Delamaro,Elisa Y. Nakagawa, Flávio Oquendo, José C. Maldonado. In XLII Latin American Computing Conference, pp. 1-12 (2016)

TR-7 **Approaches for integration in system of systems: A systematic review**. Autores: Iohan Vargas, Thiago Gottardi, Rosana Teresinha. In IEEE/ACM 4th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems, pp. 32-38 (2016)

TR-8 **Measuring Tool Chain Interoperability in Cyber-physical Systems**. Autores: Didem Gurd¨ur, Fredrik Asplund, Jad El-khoury. In 11th System of Systems Engineering Conference, pp. 1-4, (2016)

TR-9 **Interoperability-Related Architectural Problems and Solutions in Information Systems: A Scoping Study**. Autores: Hadil Abukwaik, Davide Taibi, Dieter Rombach. In Avgeriou P., Zdun U. (eds) Software Architecture. Lecture Notes in Computer Science, v 8627, pp 308-323 (2014)

TR-10 **A review on E-business Interoperability Frameworks**. Autores: Reza Rezaei, Thiam Kian Chiew, Sai Peck Lee. In Journal of Systems and Software, v 93, pp. 199-216 (2014)

TR-11 **Interoperability evaluation models: A systematic review**. Autores: Reza Rezaei, Thiam Kian Chiew, Sai Peck Lee, Zeinab Shams Aliee. In Computers in Industry, v 65 (1), pp. 1-23 (2014)

TR-12 **A systematic review of the potential hurdles of interoperability to the emergency services in major incidents: recommendations for solutions and**

alternatives. Autores: Adrian House, Nicola Power, Laurence Alison. In Cogn Tech Work 16, 319–335 (2014)

TR-13 **Sustainable interoperability: The future of Internet based industrial enterprises**. Autores: Ricardo Jardim-Goncalves, Keith Popplewell, Antonio Grilo. In Computers in Industry, v 63 (8), pp. 731-738 (2012)

TR-14 **Pragmatic interoperability: A systematic review of published definitions**. Autores: Camlon H. Asuncion, Marten J. van Sinderen. In Bernus P., Doumeingts G., Fox M. (eds) Enterprise Architecture, Integration and Interoperability. IFIP Advances in Information and Communication Technology, v 326, pp. 164-175 (2010)

TR-15 **GIS design: A review of current issues in interoperability.** Autores: Miguel-Ángel Manso, Monica Wachowicz. In Geography Compass, v3, pp. 1105-1124 (2009)

9. Descrição dos Resultados Extraídos dos Estudos

A seguir, são descritos os detalhes sobre cada elemento que foi extraído dos estudos selecionados e utilizado para responder à Sub-questão (Sub-Q1) de pesquisa do estudo longitudinal. A **Sub-Q1** trata do que tem sido feito para lidar com a interoperabilidade que pode ser aplicada no contexto de SoIS.

Nesse caso, a **plataforma baseada em agente** (P3) foi proposta como uma solução para suportar a interoperabilidade em um SoS chamado Mandala. A solução tem como objetivo oferecer uma camada de software para integrar SI heterogêneos e independentes, sem alterar sua implementação ou conhecer detalhes sobre cada sistema. Uma **abordagem** é um conjunto de pontos de vista ou métodos para alcançar algum propósito ou meta. Nesse caso, para alguns autores das publicações incluídas, as abordagens identificadas estão relacionadas a orientações (P7, P8), abordagem conceitual (P36), abordagem holística (P38) e abordagem de medição de interoperabilidade empresarial (P60). Em P7, os pesquisadores propõem uma abordagem para auxiliar a comunidade de Engenharia de Software durante a integração entre constituintes de um SoS. Os autores argumentam que, se a integração no SoS estiver devidamente documentada, os problemas de integração no SoS podem ser diminuídos.

Em relação à **arquitetura**, P6 propõe uma arquitetura conceitual baseada em três camadas, dados, serviços, processos na qual os processos e as descrições dos objetivos desencadeiam a descoberta dos serviços e dados que melhor atendem às necessidades de um arranjo. A arquitetura proposta em P72 foi projetada para oferecer flexibilidade para

combinar produtos de softwares desenvolvidos por vários fornecedores. SOA foi abordada por P30, P32, P41 representando um tipo de solução aplicada para facilitar a interoperabilidade multidisciplinar (P30), adaptar SI existente aos novos requisitos e criar pontes entre eles. Algumas publicações destacam vantagens de SOA para melhorar a interoperabilidade entre empresas por ser uma arquitetura pouco acoplada (P32) e para aumentar a interoperabilidade em SoS (P41).

Modelos também foram identificados como uma maneira de lidar com a interoperabilidade. Um modelo é uma representação explícita de uma parte da realidade e serve às pessoas que desejam usar um modelo para explorar, (re)projetar e transformar essa parte da realidade. Na área de SI, por exemplo, a modelagem conceitual é usada para a atividade que suscita e descreve o conhecimento geral em torno de um sistema que o *stakeholder* precisa conhecer (OLIVÉ, 2007). Modelo conceitual (P11) foi identificado como uma das formas de lidar com a interoperabilidade. No referido estudo, o objetivo do modelo foi entender o contexto da interoperabilidade em sistemas de saúde e foi usado para facilitar o *design* de SOA. Um modelo de maturidade foi proposto para a interoperabilidade empresarial (P21). Os modelos de maturidade são instrumentos usados para classificar as capacidades dos elementos em nível de amadurecimento e selecionar ações apropriadas para conduzi-los a níveis mais altos de maturidade (KOHLEGGER et al., 2009). No domínio de negócios, eles servem para que uma organização ou SI possam alcançar melhorias (KOHLEGGER et al., 2009). Outros tipos de modelos foram identificados nesse mapeamento sistemático da literatura. Em P44, os autores propõem um modelo formal de negócios em rede para interoperabilidade de sistemas em redes dinâmicas, enquanto, em P61, um modelo UML foi construído para um sistema de mediação. Por sua vez, P70 discute o contexto de sistemas de informação interorganizacionais (IOIS, do inglês, *Inter-organizational Information Systems*). Nesse estudo, os pesquisadores propõem um modelo macro para apoiar uma empresa virtual. A intenção nesse estudo foi articular uma estratégia global de uma empresa de manufatura para projetar uma arquitetura de SI que controle a interoperabilidade dos sistemas distribuídos, heterogêneos e concorrentes da organização participante.

Por sua vez, um meta-modelo contém as classes e os relacionamentos mais importantes para uma representação a partir dos quais os usuários podem definir seus próprios modelos. P29 e P44 propõem meta-modelos. O primeiro apresenta um meta-modelo de interface para permitir que engenheiros construam e verifiquem interfaces levando em consideração os requisitos de interoperabilidade. O outro estudo apresenta um

meta-modelo para descrições ontológicas de sistemas, problemas e soluções que podem ser inferidas para um diagnóstico de interoperabilidade auxiliado por computador.

O estudo P2 propõe um ***framework*** para apoiar a análise das condições de interoperabilidade em torno dos relacionamentos entre empresas no domínio de *Business Intelligence* (BI). Por sua vez, P12 propõe uma estrutura de negociação baseada em serviços para colaboração em redes corporativas, como uma solução para melhorar a sustentabilidade da interoperabilidade no SI corporativo. Um *framework* abstrato proposto em P15 é usado para definir requisitos em um ambiente de interoperabilidade corporativo que suporta evolução dinâmica. O *framework* discutido no estudo P16 inclui uma metodologia que explica como executar um projeto de interoperabilidade empresarial, levando em consideração diferentes visões de interoperabilidade, e.g., negócios, processos, recursos humanos, tecnologia, conhecimento e semântica. O *framework* proposto por P4 apresenta uma modelagem conceitual para apoiar a engenharia de interoperabilidade em SoS que integra a especificação, modelagem, arquitetura, *design* e teste de interoperabilidade em várias camadas. Por outro lado, P9 propõe um *framework* conceitual para alcançar a interoperabilidade entre o SI corporativo a fim de obter os ganhos necessários, competitividade e desempenho.

Um *framework* conceitual de barreiras de interoperabilidade é identificado em P17. Essa solução apresentar barreira conceituais genéricas à interoperabilidade e mostra onde elas estão inter-relacionadas em um contexto multi-organizacional. Em P18, um *framework* conceitual sobre o paradigma de interoperabilidade semiótica é proposto para orientar a avaliação, análise, explicação e previsão do comportamento dos sistemas, cobrindo questões de interoperabilidade semiótica. Outro *framework* conceitual foi proposto em P46. Nesse caso, a interoperabilidade é descrita em um ambiente de rede colaborativo-competitivo. O *framework* abordado em P25 foi proposto para o contexto interorganizacional visto que o foco era o aspecto colaborativo. A intenção com esse *framework* foi servir de base para atividades de interoperabilidade de longa duração. Para os autores, esse tipo de atividade expõe a necessidade de conscientização sistêmica e colaborativa para alcançar a sobrevivência emergente e contínua entre SI (P25).

Um *framework* conceitual também é proposto por P50 para ajudar na solução de integração de negócios que se baseia em três camadas (conceitual, lógica e tecnológica) e abrange dois aspectos separados (metodológico e tecnológico). O estudo também utiliza a ideia da *web* semântica para vincular as três camadas diferentes. Em P19, um *framework* de modelo de arquitetura foi proposto para melhorar a interoperabilidade dos ecossistemas digitais com base na teoria de sistemas complexos. O estudo descreve o modelo conceitual

e como o modelo é tecnicamente implementado. Além desses estudos, P40 propõe um *framework* para avaliar e melhorar a interoperabilidade em cada parceiro que colabora em uma cadeia de suprimentos. Essa estrutura é baseada em atividades de interoperação que correspondem a processos de negócios que representam esforços para interoperabilidade e indicadores de desempenho, ou seja, agregação de tempo, custo, desempenho de qualidade e atividades de negócios. P45 apresenta um *framework* de análise para ajudar a capturar e elaborar requisitos de interoperabilidade.

No domínio de *e-Governance*, P47 propôs um *framework* de interoperabilidade para fornecer antecedentes sobre questões e desafios no estabelecimento de interoperabilidade e compartilhamento de informações entre os SI de governança. Em P54, os autores propõem um *framework* semântico para fornecer interoperabilidade entre ambientes educacionais. Dentro do escopo do *framework* de interoperabilidade empresarial (FEI) proposto por P55, um conjunto de barreiras de interoperabilidade são identificadas e categorizadas. P62 apresenta um *framework* que organiza conceitos e terminologia para identificar e debater questões de interoperabilidade a fim de identificar os principais aspectos para discutir interoperabilidade em categorias, como técnicas, informativas e organizacionais.

O paradigma proposto em P37 discute um formalismo matemático que mostra que o estado da arte em padrões de interoperabilidade e interoperabilidade leva a paradoxos. Por outro lado, diretrizes pragmáticas foram propostas em P52, na qual o primeiro passo para a interoperabilidade de software consiste na modelagem de processos e apresenta uma orientação pragmática para gerar o modelo de processos de negócios. Recomendações foram identificadas como suporte à interoperabilidade em P24. Nessa publicação, as recomendações proveem informações para funcionários e profissionais do governo para entender e melhorar o nível de interoperabilidade nos portais do governo. Essas recomendações visam ajudar *stakeholders* a se concentrarem nos fatores organizacionais relevantes.

No contexto do SoS, um sistema mediador **(**P5) visa definir e projetar uma plataforma dedicada a iniciar e apoiar a situação colaborativa entre os possíveis parceiros. Essa solução é baseada em uma visão de engenharia orientada a modelo (MDE, do inglês, *model-driven engineering*) dedicada ao *design* de um Sistema de Informação Mediador (MIS, do inglês, *mediation information system*) para melhorar a interoperabilidade em situações de colaboração emergentes. Por sua vez, P22 apresenta uma aplicação prototipada de sistemas complexos para demonstrar uma solução conceitual e um guia para implementação, identificando os principais processos e fluxos de dados.

Além disso, **métodos** (P1, P31, P51, P63, P71) e metodologias (P14, P26, P34) foram identificados como artefatos para lidar com interoperabilidade. Em P1, os autores propõem e demonstram um método de análise de interoperabilidade centrado na arquitetura para um SoS e analisa a interoperabilidade operacional e técnica desse contexto. Em P31, um método para avaliar a interoperabilidade de recursos e unidades de negócios que provavelmente estão envolvidas em um processo de implantação é descrito. Em P51, é descrito um método geral de medição de interoperabilidade, enquanto o método de P71 foi proposto para reduzir o risco de problemas de interoperabilidade.

Um conjunto de indicadores em P20 é estabelecido para determinar a relação entre o nível de interoperabilidade do SoS e seu funcionamento em qualquer situação. Em P58, um conjunto de técnicas de modelagem e análise foi usado para explorar o risco de interoperabilidade. Nessa publicação, as técnicas de modelagem e análise permitiram criar modelos de pessoas, processos e tecnologias para representar a maneira como as demandas eram impostas a sistemas sociotécnicos complexos. Estratégias também foram utilizadas nas publicações P13, P35, P57, P69. Para apoiar a interoperabilidade semântica, foram identificadas soluções do tipo: dicionário de sinônimos em P59, P66 e P67; vocabulário em P68 e ontologia em P67. Em P67, os autores utilizaram técnicas estatísticas e de mineração de texto foram usadas para extrair um glossário de termos e definições relevantes.

Apêndice IV. Instrumento e Textos da Pesquisa de Opinião

1. Versão do Instrumento em Inglês

Challenges of Interoperability among Information Systems

Thank you for agreeing to participate in our survey. This survey is being conducted by Juliana Fernandes (master's student at UNIRIO - Brazil) under the supervision of PhD. Valdemar Graciano Neto (UFG - Brazil) and PhD. Rodrigo Santos (UNIRIO - Brazil). By submitting the completed survey, you indicate your willingness to participate and allow the data to be used for research purposes. Your participation in this survey is voluntary, your individual answers will be kept confidential and anonymous. You can withdraw at any time.

* Required

Professional Profile

1. **How long have you experience with interoperability?** *
Mark only one oval.

- ◯ less than 1 year
- ◯ 1 to 5 years
- ◯ 5 to 10 years
- ◯ more than 10 years

2. **What is your market sector?** *
Mark only one oval.

- ◯ Industry
- ◯ Academy
- ◯ Both

3. **What is your current position?** *
Mark only one oval.

- ◯ Trainee
- ◯ Software Architect
- ◯ System Analyst
- ◯ Project Manager
- ◯ Interoperability Specialist
- ◯ Interoperability Manager
- ◯ Interoperability Architect
- ◯ Other: _____

Challenges of Interoperability

4. **What are the challenges you face when dealing with interoperability among information systems?** *

5. **What are your suggestions for mitigating the above mentioned challenges?** *

6. **Do you have any extra comment or experience to share?**

7. **What is your email? (If you would like to receive the results of this survey)**

Powered by
Google Forms

2. Versão do Instrumento em Português

Investigando desafios de interoperabilidade entre Sistemas de Informação

Obrigada por concordar em participar da nossa pesquisa. Esta pesquisa de opinião é conduzida por Juliana Fernandes (estudante de mestrado do PPGI/UNIRIO) sob supervisão dos professores Valdemar Graciano Neto (UFG) e Rodrigo Santos (UNIRIO). Enviando a pesquisa concluída, você indica sua vontade de participar e permite que os dados sejam utilizados para fins de pesquisa. Sua participação nesta pesquisa é voluntária, suas respostas individuais serão mantidas confidenciais e anônimas. Você pode desistir a qualquer momento.

* Required

Perfil Profissional

1. **Qual o seu tempo de experiência com interoperabilidade?** *
Mark only one oval.

- ◯ Há menos de 1 ano
- ◯ Entre 1 e 5 anos
- ◯ Entre 5 e 10 anos
- ◯ Há mais de 10 anos

2. **Setor de Atuação** *
Mark only one oval.

- ◯ Indústria
- ◯ Academia
- ◯ Ambos

3. **Qual é a sua ocupação atual?** *
Mark only one oval.

- ◯ Estagiário
- ◯ Arquiteto de Software
- ◯ Analista de Sistemas
- ◯ Gerente de Projeto
- ◯ Especialista em Interoperabilidade
- ◯ Gerente de Interoperabilidade
- ◯ Arquiteto de Interoperabilidade
- ◯ Other: _____

Desafios de Interoperabilidade

4. **Quais são os desafios que você enfrenta ao lidar com interoperabilidade entre sistemas de informação?** *

5. **Quais as suas sugestões para mitigar os desafios mencionados?** *

6. **Você tem algum comentário ou experiência extra para compartilhar?**

7. **Qual é o seu emaill? (Se você desejar receber os resultados desta pesquisa de opinião)**

Powered by
Google Forms

3. Descrição do Processo de Análise dos Resultados da Pesquisa de Opinião

Nessa análise, as codificações aberta e axial foram aplicadas. Na codificação aberta, os dados foram analisados em detalhes para a criação dos códigos relacionados a seções específicas das respostas, como mostra a Figura 40. Na codificação axial, as categorias (ou famílias, de acordo com a ferramenta Atlas.TI) foram identificadas e as relações entre códigos foram criadas possibilitando a geração de inter-relações. Categorias são agrupamentos de conceitos que se juntam em maior grau de abstração (CORBIN e STRAUSS, 2014).

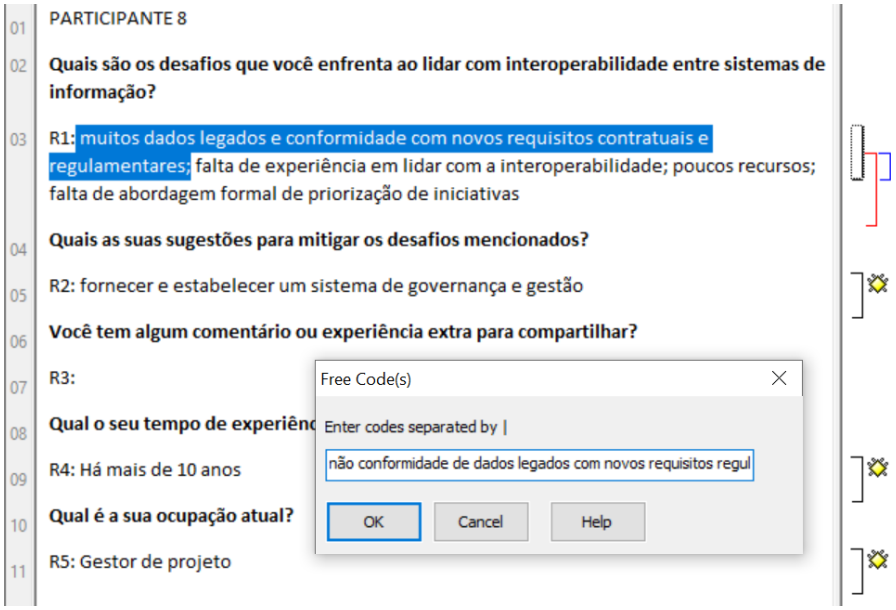


Figura 40. Demonstração do estágio de codificação aberta.

4. Análise e Interpretação dos Resultados

Nesse estudo, percebeu-se que embora os desafios tenham sido categorizados, eles são inter-relacionados. A inter-relação entre os desafios, por sua vez, se reflete em mais inter-relações com as sugestões de mitigação. Ou seja, uma sugestão citada para mitigar um desafio de uma categoria, auxilia a mitigar dificuldades de outras categorias. Um exemplo disso é o desafio relacionado ao fraco conhecimento sobre padrões de interoperabilidade (caixa verde da Figura 41), que está relacionado à categoria de padrões. Esse desafio também está associado à falta de experiência em interoperabilidade do profissional, que é um desafio atribuído à categoria de fatores humanos. Outro exemplo é a padronização dos modelos de informação, que foi uma sugestão recomendada para mitigar desafio semântico e que também está associada à não conformidade de dados legados com os novos requisitos de regulamentação (caixa azul da Figura 41).

Por sua vez, o desafio de diferentes interfaces entre os SI teve como sugestão de mitigação manter um bom relacionamento com *stakeholders*, que está relacionada à categoria de fator humano (caixa rosa da Figura 41).

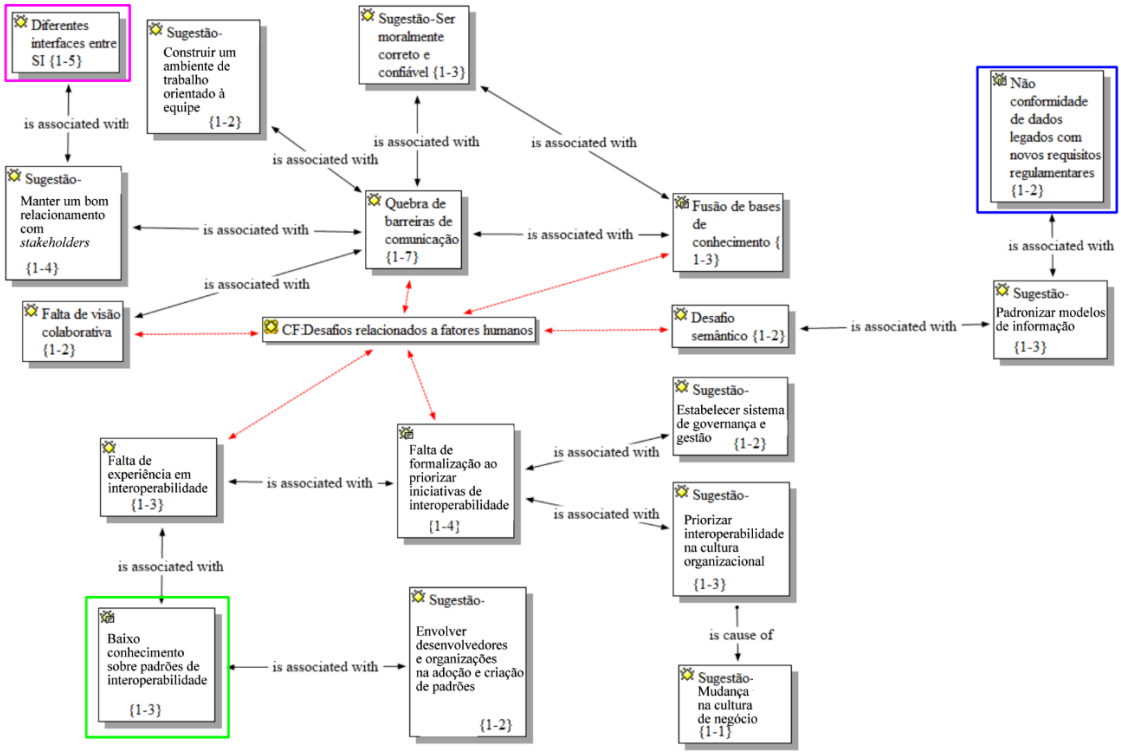


Figura 41. Inter-relações em torno dos desafios relacionados a fatores humanos.

Com isso, pode-se observar que três desafios não vinculados diretamente à categoria de fatores humanos são indiretamente relacionados a ela. Observou-se ainda que algumas sugestões para mitigar os desafios da interoperabilidade da categoria de dados estão inter-relacionadas com as categorias de fatores humanos (caixa azul da Figura 42) e com a categoria de padrões (caixa verde da Figura 42).

Por sua vez, desafios diretamente relacionados aos padrões também estão vinculados aos dados (caixa rosa da Figura 43), questões técnicas (caixa verde da Figura 43) e fatores humanos (caixa azul da Figura 43). Os desafios relacionados a fatores técnicos estão ligados a desafios de dados (caixa rosa da Figura 44), questões de padrões (caixa verde da Figura 44) e fatores humanos (caixa azul da Figura 44).

Esse estudo também mostrou que as sugestões atenuantes de uma categoria específica podem ajudar a mitigar desafios relacionados a outras categorias. Figuras foram elaboradas para representar como se dá a relação entre as sugestões de mitigação com as diferentes categorias de desafios.

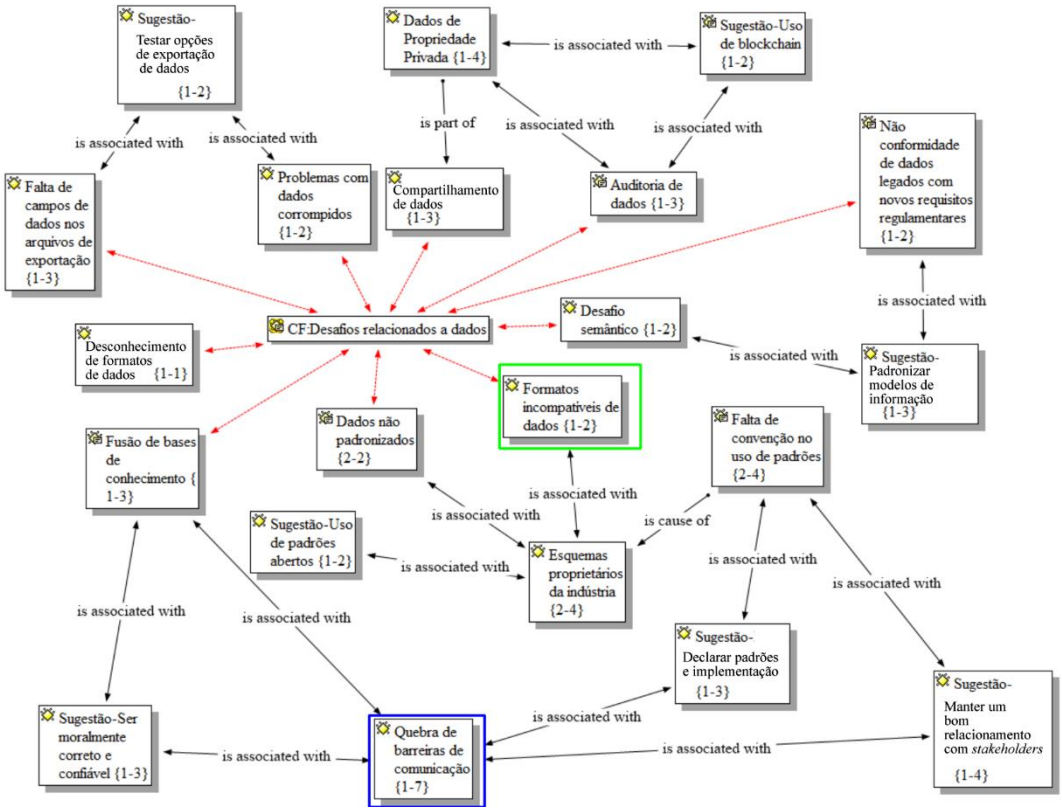


Figura 42. Inter-relações em torno dos desafios relacionados a dados.

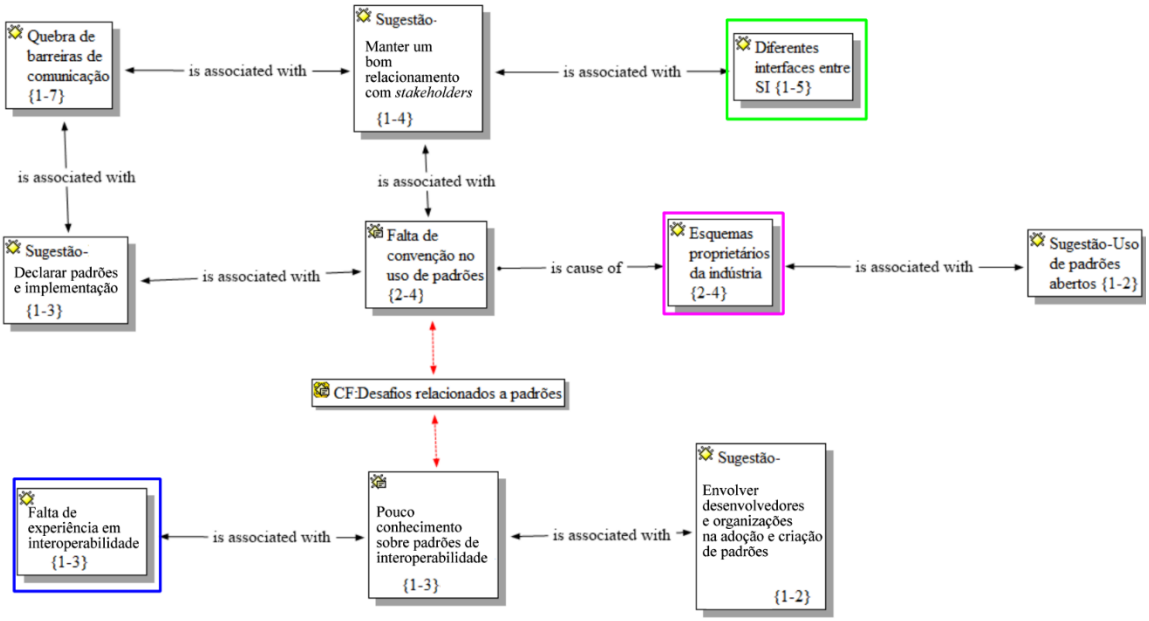


Figura 43. Inter-relações em torno dos desafios relacionados a padrões.

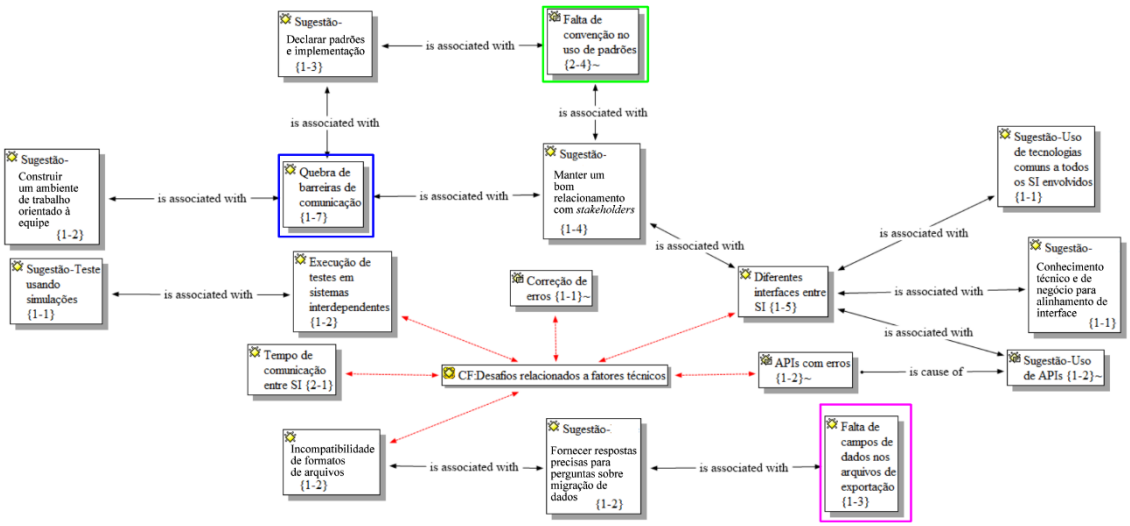


Figura 44. Inter-relações em torno dos desafios relacionados a questões técnicas.

Todas as figuras a seguir foram produzidas, inspiradas e adaptadas de GREENWOOD e SOMMERVILLE (2011). Para fins de representação, as seguintes entidades e relacionamentos foram utilizadas:

- **Sugestão atenuante:** entidade que representa uma sugestão apontada pelos participantes e que atenua alguma dificuldade na interoperabilidade;
- **Delimitação da categoria:** caixa pontilhada que representa um desafio ou um conjunto de desafios agrupados em uma categoria, e.g., fatores humanos, desafios relacionados a padrões, a dados ou questões técnicas;
- **Desafio relatado:** entidade que representa um desafio apontado pelos participantes;
- **Pode ajudar:** um relacionamento que representa como uma sugestão de mitigação pode ajudar um desafio de categoria diferente, ou auxilia outra sugestão de atenuar desafios.

Algumas sugestões para mitigar os desafios de interoperabilidade da categoria humana estão inter-relacionadas às categorias relacionadas a dados, a fatores técnicos e a padrões (Figura 45). Nesse caso, envolver os desenvolvedores de sistemas e as organizações na adoção e criação de padrões para interoperabilidade auxilia a preencher lacunas relacionadas ao pouco conhecimento sobre padrões de interoperabilidade, a lidar com falta de experiência profissional com interoperabilidade e a mitigar problemas de falta de iniciativas de priorização da interoperabilidade.

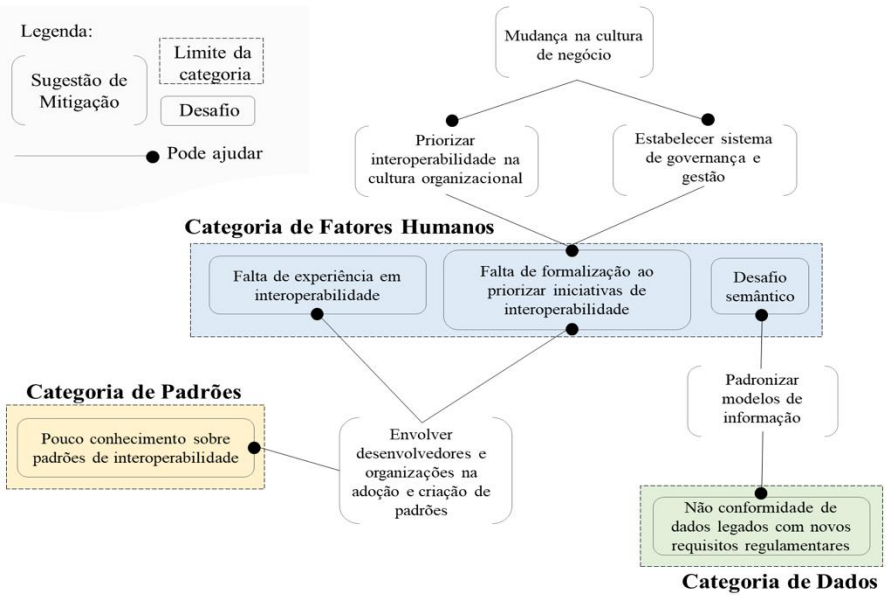


Figura 45. Inter-relações em torno das ações de mitigação dos desafios humanos.

Sugestões citadas para mitigar os desafios de interoperabilidade da categoria de dados estão inter-relacionados às categorias de fatores humanos e padrões (Figura 46). Um exemplo disso é que usar padrões abertos tanto pode auxiliar nas questões de compartilhamento de dados como pode auxiliar nas dificuldades relacionadas a esquemas de dados proprietários. Manter um bom relacionamento entre *stakeholders* também mitiga problemas relacionados à dificuldade de quebrar barreiras de comunicação pessoal e ajuda a chegar a consenso relacionado à falta de convenção no uso de padrões.

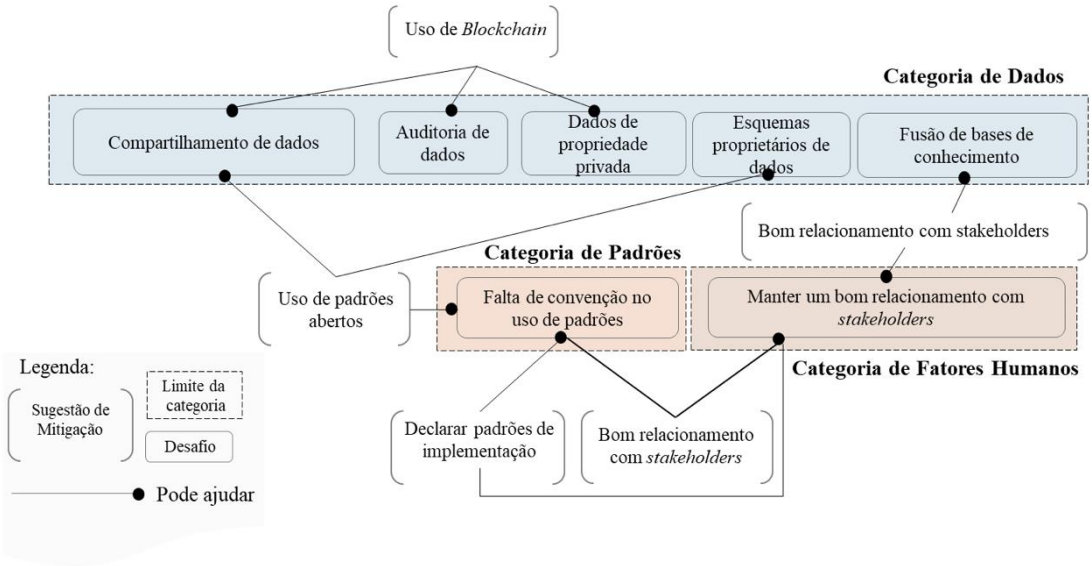


Figura 46. Inter-relações em torno das ações de mitigação dos desafios de dados.

Na categoria de padrões, algumas sugestões para mitigar os desafios de interoperabilidade estão inter-relacionados às categorias de fatores técnicos e humanos, como mostra a Figura 47.

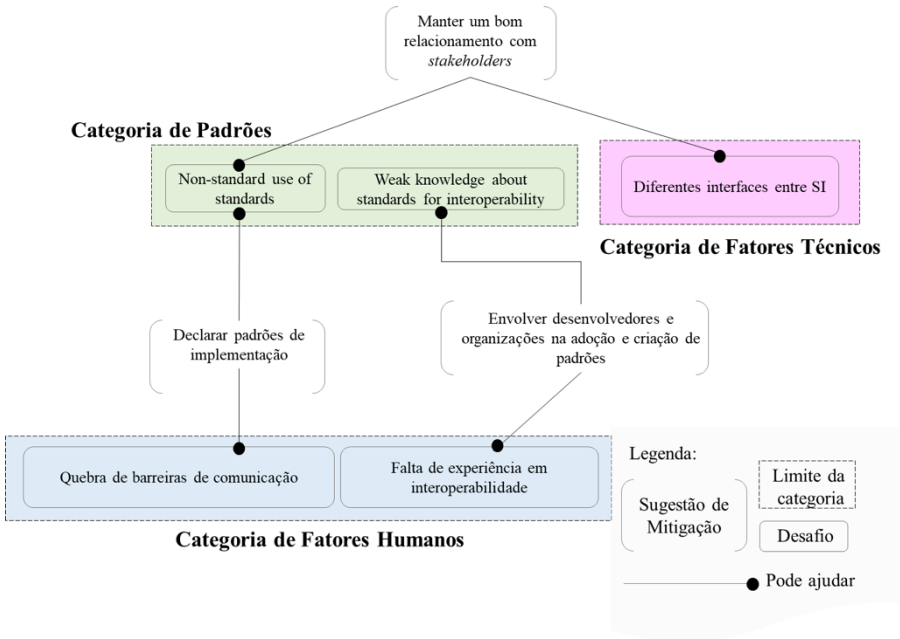


Figura 47. Inter-relações em torno das ações de mitigação dos desafios de padrões.

Um exemplo disso é que, caso uma autoridade declare padrões de implementação e divulgue essa informação, dificuldades relacionadas à falta de convenção no uso de padrões podem ser mitigadas. Por sua vez, a divulgação dessa informação auxilia os desafios da quebra de barreiras de comunicação entre as pessoas. Além disso, manter um bom relacionamento entre *stakeholders* auxilia a mitigar dificuldades relacionadas às diferentes interfaces entre SI porque facilita acordos de padronização ou adoção de tecnologias. Na categoria de fatores técnicos, algumas sugestões para mitigar os desafios de interoperabilidade estão inter-relacionados com a categorias de fatores humanos e desafios de dados e padrões (Figura 48). Quando respostas precisas para questões de migração de dados são providas, tanto o problema de incompatibilidade de arquivos como os desafios relacionados à falta de campos em arquivos de exportação de dados podem ser mitigados.

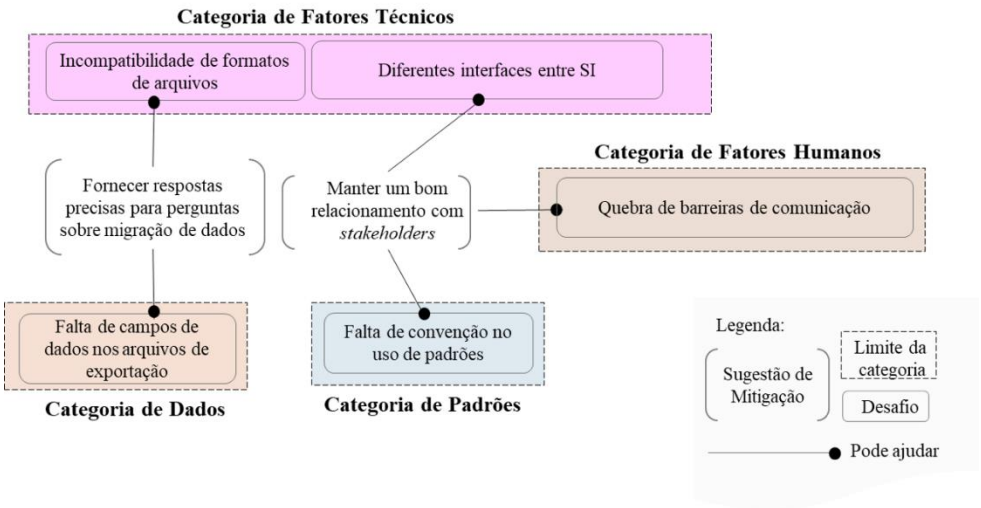


Figura 48. Inter-relações em torno das ações de mitigação dos desafios técnicos.

Apêndice V. Instrumento e Textos da Avaliação do Modelo

1. Instrumento da Avaliação do Modelo

Seção 1. Termo de Consentimento Livre Esclarecido

Ao responder a esta pesquisa, você permite que os pesquisadores obtenham, usem e divulguem as informações anônimas fornecidas conforme descrito abaixo.

Condições

1. Eu entendo que todas as informações são confidenciais. Eu não serei pessoalmente identificado e concordo em concluir o *survey* para fins de pesquisa. Os dados derivados dessa pesquisa anônima podem ser publicados em periódicos, conferências e publicações em *blogs*.
2. Entendo que minha participação neste estudo de pesquisa é totalmente voluntária e que recusar participar não envolverá penalidade ou perda de benefícios. Se eu escolher, posso retirar minha participação a qualquer momento. Eu também entendo que, se eu optar por participar, posso me recusar a responder questões abertas as quais eu não me sinta confortável para responder.
3. Entendo que posso entrar em contato com a pesquisadora se tiver alguma dúvida sobre a pesquisa. Estou ciente de que meu consentimento não me beneficiará diretamente. Também estou ciente de que a autora manterá os dados coletados em perpetuidade e poderá utilizar dados para trabalhos acadêmicos futuros.
4. Ao seguir para a próxima seção, eu livremente forneço consentimento e reconheço meus direitos como participante voluntário(a) da pesquisa, conforme descrito acima, e forneço consentimento à pesquisadora para usar minhas informações na condução de pesquisas sobre a área mencionada acima.

Seção 2. Perfil Acadêmico e Profissional

O asterisco (*) significa preenchimento obrigatório.

Qual foi a sua última formação acadêmica? *

( ) Ensino Médio
( ) Graduação
( ) Especialização/*Master of Business Administration* (MBA)
( ) Mestrado
( ) Doutorado
( ) Outro: _____

Como você classifica sua familiaridade com o tema SoIS? *

( ) Este é o meu primeiro contato com os conceitos que envolvem o tema
( ) Tenho uma noção básica dos conceitos que envolvem o tema
( ) Tenho uma noção dos conceitos mas ainda estou me apronfundando no tema
( ) Sou pesquisador do tema e tenho domínio dos conceitos envolvidos

Qual é o seu email? *(Opcional)*
Caso você queira receber o relatório final com os resultados desta pesquisa, por gentileza, forneça o seu e-mail

_____

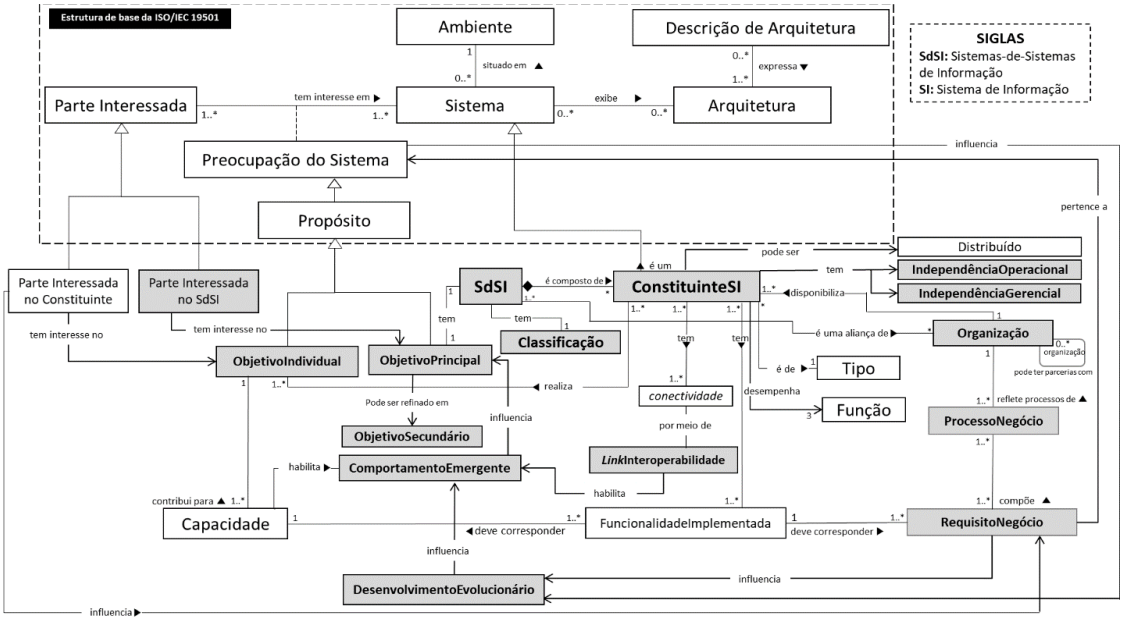
Seção 3. Modelo Conceitual de SoIS

Um modelo conceitual busca representar o conjunto de entidades e suas relações, caracterizar um determinado domínio de conhecimento e ajudar a entender o domínio em questão. Para a representação das relações entre as entidades foi utilizada a linguagem UML (*Unified Modelling Language*). Para conhecer mais sobre a notação utilizada acesse o documento oficial da UML (https://www.omg.org/spec/UML/2.5.1/PDF). O modelo adota alguns símbolos da notação UML, tais como associação, composição, herança, dependência, cardinalidade/multiplicidade. Para conhecer as definições que embasam os elementos leia o glossário disponível e para melhor compreender os símbolos utilizados, veja o quadro descritivo das notações. O modelo foi construído tendo como base o modelo de sistemas-de-sistemas intensivos em software proposto por Gonçalves et al. [1]. O modelo para SoIS é baseado na perspectiva de que entendendo os elementos e as relações existentes entre sistemas de informação aumenta-se as chances de melhorar a gestão ou monitoramento da conectividade entre os sistemas constituintes de um determinado contexto. Você também pode acessar o modelo e o glossário por meio do link: http://bit.ly/modeloSdSI_Glossario_beta_v2

Notação utilizada no modelo conceitual de SoIS

Símbolo utilizado no modelo	Descrição
A	A letra *A* representa um elemento do modelo conceitual.
r	O símbolo da linha representa o relacionamento entre elementos, a letra *r* representa o nome do relacionamento e a seta representa a direção do relacionamento.
r	Esta seta representa relações abstratas que caracterizam o contexto de SdSI.
	Esta seta representa uma herança.
A — r — B (M, N)	As letras *M* e *N* representam o número de valores que podem estar envolvidos em uma determinada relação. O elemento *A* se relaciona *r* com *N* valores do elemento *B*. Enquanto que o elemento *B* se relaciona com *M* valores do elemento *A*.
C — r → D	O elemento *C* expressa uma relação *r* com *N* valores do elemento *D*.
E — r — F (N)	O elemento *E* é composto de *N* valores do elemento *F*.
A; B; C	Os elementos *B* e *C* são subtipos do elemento *A* e consequentemente herdam as características do elemento *A*. No entanto, *B* e *C* possuem características particulares.

Modelo Conceitual de SoIS Avaliado



Glossário dos elementos e conceitos-chave de SoIS

Conceito-chave	Descrição
Objetivo Principal	O objetivo a ser alcançado pelo SdSI por meio da colaboração dos SI constituintes.
Objetivo Secundário	Um conjunto de objetivos resultantes do refinamento do objetivo principal do SdSI. Também pode ser chamado de sub-objetivos.
Objetivo Individual	Um conjunto de objetivos individuais de cada SI constituinte pertencente ao arranjo.
Sistema de Informação Constituinte	Pode ser qualquer combinação organizada de pessoas, hardware, software intensivo, comunicações, redes e recursos de dados que coletam, transformam e disseminam informações em um organização [2].
Tipo	O SdSI abrange os sistemas do tipo SI. Para atingir o objetivo individual, o tipo de SI constituinte pode ser manual, informal, formal ou com uso intensivo de software, ou seja, qualquer sistema em que o software contribui com influências essenciais para o projeto, construção, implantação e evolução do sistema como um todo [3, 4].
Função	As funções são desempenhadas pelas organizações e envolvem processos e operações de negócios, tomada de decisão e vantagem competitiva estratégica [2].
Distribuição	Os sistemas constituintes fisicamente desacoplados trocam informações entre eles através de tecnologia de rede [5,6,7].
Independência Operacional	Propriedade na qual o constituinte não tem sua operação direcionada exclusivamente ao objetivo da SdSI. Ou seja, ao mesmo tempo que o SI constituinte contribui ocasionalmente e sob demanda para objetivos do SdSI, mantém seus objetivos individuais sendo cumpridos também [5,6].
Independência Gerencial	Propriedade na qual um ou mais SI constituintes de um SdSI pertencem a uma empresa, grupo, organização ou pessoa / entidade [5,6].
Organização	Uma série de rotinas interligadas, padrões de ação habituais que unem as mesmas pessoas em torno das mesmas atividades no mesmo tempo e lugar [8].
Processo de Negócios	Um conjunto estruturado de atividades projetadas para produzir uma saída específica para um determinado cliente ou mercado: apresenta um começo, um fim com entradas e saídas claramente identificadas [9].
Requisito de Negócio	Uma representação de metas, objetivos e resultados que descrevem porque uma mudança foi iniciada e como o sucesso será avaliado [10]. São atividades críticas de uma empresa que devem ser executadas para atender aos objetivos organizacionais.
Funcionalidade Implementada	Comportamento ou ação com início e fim, ou seja, algo executável.
Capacidade	Competências exigidas dos constituintes no SdSI. É o resultado de um trabalho colaborativo de uma conjunto de sistemas existentes [6,11,12].
Link de Interoperabilidade	Qualquer forma de enviar e / ou receber mensagens entre SI.
Conectividade	A capacidade que um SI tem para se comunicar com outro SI .
Comportamento emergente	Fenômeno holístico que se manifesta no SdSI como resultado da interoperabilidade entre os SI constituintes que produzem um resultado global que não pode ser fornecido por nenhum deles isoladamente [5,6,13].
Desenvolvimento Evolucionário	Possibilidade de funções e finalidades serem adicionadas, removidas e modificadas no SdSI conforme a experiência e necessidades de negócios [5,6].
Classificação	Um SdSI pode ser classificado em quatro categorias: virtual, colaborativa, reconhecida e dirigida [6,14].
Parte Interessada no SdSI	Um grupo de pessoas que tem um interesse mútuo nos objetivos do SdSI e pode afetar ou ser afetado por esses objetivos.
Parte Interessada no Constituinte	Uma pessoa ou grupo de pessoas que tem interesse em uma organização e pode afetar ou ser afetada pelos objetivos do SI desta organização.

Seção 4. Avaliação do Modelo

Leitura por extenso do modelo

A questão a seguir representa a leitura por extenso do modelo completo. Para responder a esta questão você deve ler o conteúdo e em seguida escolher uma opção considerando uma escala de 0 a 3.

0. Discordo totalmente
1. Discordo parcialmente
2. Concordo parcialmente
3. Concordo totalmente

SoIS é uma aliança de várias organizações diferentes que disponibilizam um ou vários SI constituintes em prol do seu objetivo principal. SoIS tem um objetivo principal que pode ser refinado ou decomposto em um ou vários objetivos secundários. O constituinte em um SoIS pode estar distribuído geograficamente ou não, no entanto, ele deve ter independência gerencial e operacional. O SI constituinte é de um tipo (manual, formal, informal ou intensivo em software) e, por pertencer a uma organização, desempenha três funções clássicas (processos e operações de negócios, auxílio na tomada de decisão e vantagem competitiva estratégica). Logo, o SI constituinte realiza um ou vários objetivos individuais para cumprir os interesses das partes interessadas. O que viabiliza a realização destes objetivos individuais são as funcionalidades implementadas deste SI. Cada funcionalidade deve corresponder a um ou vários requisitos de negócio que compõem um ou vários processos de negócio da organização. Em SoIS, o SI constituinte tem uma ou mais conectividades que pode envolver um ou vários SI constituintes. Essas conexões são possíveis por meio de links de interoperabilidade estabelecidos entre eles. Estes links são qualquer forma de enviar e/ou receber mensagens entre SI. A interoperabilidade originada permite a entrega de um resultado global que não pode ser fornecido por nenhum destes SI constituintes isoladamente e consequentemente, reflete o comportamento emergente do SoIS. Portanto, este comportamento é um fenômeno holístico que se manifesta no SoIS como resultado da interoperabilidade. Os vários requisitos de negócio relacionados a um

SI constituinte são oriundos de uma organização e estão sujeitas a mudanças. Devido a isto, funções podem ser adicionadas, removidas ou modificadas, conforme a necessidade de uma organização em particular, fazendo com que o desenvolvimento evolucionário seja uma característica inerente a SoIS. Neste caso, requisitos de negócios, influenciados pelas partes interessadas no constituinte deste arranjo, influenciam diretamente o comportamento emergente do SoIS. Já as partes interessadas no SoIS que tem interesse no objetivo principal do arranjo tem como uma das principais preocupações a orquestração dessa aliança de modo a manter o SoIS operando em meio ao desenvolvimento evolucionário, comportamento emergente, à independência gerencial e operacional dos SI constituintes. SoIS tem uma classificação (virtual, colaborativa, direcionada ou reconhecida) que pode influenciar a maneira como as partes interessadas no SoIS devem reunir esforços para melhor gerenciar alianças entre organizações. Isto é necessário para manter o arranjo de SI constituintes operando em prol do objetivo principal. As partes interessadas também devem lidar com desafios tais como, o fato de cada SI constituinte ser um sistema situado em um determinado ambiente, possuir uma arquitetura independente e um conjunto de preocupações particulares. Dependendo do tipo de classificação, questões como a possibilidade de existirem partes interessadas com interesses conflitantes em um domínio podem ser mais bem orquestradas.

Você concorda com a caracterização apresentada na leitura por extenso do modelo? *****

	0	1	2	3	
Discordo totalmente	◯	◯	◯	◯	Concordo totalmente

Comentário/Sugestão/Exemplo(s). *(Opcional)*

_____

_____

Questionário

Para responder as próximas questões você pode seguir estas etapas:
1. Veja a notação, analise o modelo e leia o quadro de conceitos-chave disponível na Seção 3.
2. Analise as relações contidas no modelo que representa cada elemento.
3. Se você tiver dúvidas sobre qualquer definição de elemento, verifique no glossário.
4. Na questão 1 (Q1), questão 2 (Q2), questão 3 (Q3) marque sua resposta (sim/ parcialmente/ não). Na questão 4 (Q4) e questão 5 (Q5) marque sua resposta (sim/ não).
5. A partir da questão 6, você deve escolher em uma escala de 0 a 3 a adequabilidade de cada conceito e relação expressa no modelo conceito.
6. Justifique sua opinião com comentários e exemplos. Por gentileza, ajude-nos a melhorar o modelo conceitual adicionando sugestões.

Q1: O modelo contém todos os elementos que caracterizam SoIS, isto é, você considera o modelo completo e exaustivo? *****
( ) Sim
( ) Parcialmente
( ) Não
Se sua resposta foi parcialmente ou não, dê sua opinião indicando que entidade não está representada no modelo para SoIS. Por gentileza, justifique com comentários e/ou exemplos que nos ajude a melhorar o modelo. *(Opcional)*

_____

Q2: Os elementos presentes no modelo conceitual são relevantes? *
( ) Sim
( ) Parcialmente
( ) Não
Se sua resposta foi parcialmente ou não, por favor, justifique sua opinião com comentários e/ou exemplos que nos ajude a melhorar o modelo. *(Opcional)*

_____
_____

Q3: Você considera o modelo útil? *
( ) Sim
( ) Parcialmente
( ) Não
Se sua resposta foi parcialmente ou não, por favor, justifique sua opinião com comentários e/ou exemplos que nos ajude a melhorar o modelo. *(Opcional)*

_____
_____

Q4: Você considera o modelo correto e/ou consistente? *
( ) Sim
( ) Não
Se sua resposta foi não, por favor, informe a inconsistência percebida, conceito, relação ausente ou equivocada no modelo. *(Opcional)*

_____
_____

Q5: Utilizando o modelo, você seria capaz de classificar um sistema como sendo um SoIS? *
( ) Sim
( ) Não
Se sua resposta foi não, por favor, justifique sua opinião com comentários e/ou exemplos que nos ajude a melhorar este aspecto no modelo. *(Opcional)*

_____
_____

Avaliação de cada conceito e relação do modelo conceitual de SoIS

Para avaliar a adequabilidade individual de cada conceito e de cada relação do modelo as questões a seguir devem ser marcadas considerando uma escala de 0 a 3.

0. Não pertinente
1. Parece pertinente
2. É pertinente
3. É um conceito essencial

Leia as proposições e avalie a adequabilidade dos conceitos e relações. *

SoIS é uma aliança de várias organizações que disponibilizam um ou vários SI constituintes para um SoIS.	0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○
SoIS tem um objetivo principal que pode ser refinado ou decomposto em um ou vários objetivos secundários.	0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○
O constituinte em um SoIS pode estar distribuído geograficamente ou não, no entanto, ele deve ter independência gerencial e operacional.	0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○
O SI constituinte realiza um ou vários objetivos individuais para as partes interessadas. O que viabiliza a realização destes objetivos individuais são as funcionalidades implementadas deste SI.	0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○
Cada funcionalidade deve corresponder a um ou vários requisitos de negócio que compõe um ou vários processos de negócio da organização.	0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○
Em SoIS, o SI constituinte tem uma ou mais conectividades que por sua vez pode envolver um ou vários SI constituintes. Essas conexões são possíveis por meio de *links* de interoperabilidade estabelecidos entre eles.	0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○
A interoperabilidade originada permite a entrega de um resultado global que não pode ser fornecido por nenhum destes constituintes isoladamente e, consequentemente, reflete o comportamento emergente do SoIS.	0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○
Funções podem ser adicionadas, removidas ou modificadas conforme a necessidade de uma organização em particular. Isto faz com que o desenvolvimento evolucionário seja uma característica inerente a SoIS.	0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○
Requisitos de negócios mapeados em SI constituintes deste arranjo influenciam diretamente o comportamento emergente do SoIS.	0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○
SoIS tem uma classificação (virtual, colaborativa, direcionada ou reconhecida). A classificação pode influenciar a maneira como as partes interessadas no SoIS devem reunir esforços para melhor gerenciar alianças entre organizações.	0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○

Comentário/sugestão/exemplo(s) sobre conceitos e relações do modelo que você considera não adequados. *(Opcional)*

_____

_____

Você acredita que esta forma de avaliação do modelo foi a mais adequada? Em caso negativo, você poderia nos prover sugestões para melhorarmos a estratégia? *

_____

_____

Referências apresentadas aos avaliadores junto ao instrumento de avaliação

[1] M. B. Gonçalves, E. Cavalcante, T. Batista, F. Oquendo, and E. Y. Nakagawa. Towards a conceptual model for software-intensive system-of-systems. In IEEE SMC, pages 1605–1610. IEEE, 2014.
[2] J. A. O'Brien and G. Marakas. Management Information Systems. McGraw-Hill, Inc., Boston, MA, USA, 8 Edition, 2007.
[3] ISO/IEC/IEEE. Systems and software engineering architecture description. International Standard ISO/IEC/IEEE1471-2000, 2011.
[4] J. A. O'brien and G. M. Marakas. Introduction to information systems, volume 13. McGraw-Hill/Irwin New York City, USA, 2005.
[5] M. W. Maier. Architecting principles for systems-of-systems. In INCOSE International Symposium, volume 6, pages 565–573. Wiley Online Library, 1996.
[6] M. W. Maier. Architecting principles for systems-of-systems. Systems Engineering: The Journal of the International Council on Systems Engineering, 1(4):267–284,1998.
[7] V. V. G. Neto, W. Manzano, M. Kassab, and E. Y. Nakagawa. Model-based engineering & simulation of software-intensive systems-of-systems: experience report and lessons learned. In Proceedings of the 12th European Conference on Software Architecture: Companion Proceedings, page 27. ACM, 2018.
[8] F. R. Westley. Middle managers and strategy: Microdynamics of inclusion. Strategic management journal, 11(5):337–351, 1990.
[9] T. H. Davenport. Process innovation: reengineering work through information technology. Harvard Business Press,1993.
[10] IIBA. A Guide to the Business Analysis Body of Knowledge (Babok Guide). International Institute of Business Analysis, 2015.
[11] M. B. Gonçalves, E. Cavalcante, T. Batista, F. Oquendo, and E. Y. Nakagawa. Towards a conceptual model for software-intensive system-of-systems. In 2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), pages 1605–1610. IEEE, 2014.
[12] D. OUSD(ATL). Systems engineering guide for systems of systems. Technical report, Office of the Deputy Under Secretary of Defense for Acquisition and Technology, Department of Defense, 2008.
[13] V. V. G. Neto, F. Oquendo, and E. Y. Nakagawa. Smart systems-of-information systems: Foundations and an assessment model for research development. Grand Challenges in Information Systems for the next 10 years, 10:1–12, 2017.
[14] J. S. Dahmann and K. J. Baldwin. Understanding the current state of us defense systems of systems and the implications for systems engineering. In 2008 2nd Annual IEEE Systems Conference, pages 1–7. IEEE, 2008.

2. Avaliação e Limitações sobre Abordagens de Interoperabilidade da ISO 14258

Uma das diretrizes para o *design* de *links* de interoperabilidade é a definição de arquitetura. Nessa etapa, recomenda-se uma avaliação de como cada abordagem de interoperabilidade definida pela ISO 14258 (ISO,1999) pode afetar potencialmente as características de um SoIS antes de descrever a arquitetura do arranjo. Para auxiliar o

gestor de SoIS nessa etapa, um quadro informativo (Figura 39. Abordagens para interoperabilidade (FERNANDES et al., 2020b). que descreve como cada abordagem influencia as características de um arranjo de SoIS é apresentado (FERNANDES et al., 2020b). A elaboração desse quadro informativo foi conduzida por três pesquisadores. Para cada abordagem de interoperabilidade e cada característica do SoIS, cada pesquisador analisou se e como cada abordagem pode ou não ameaçar a manutenção do recurso em um arranjo do SoIS. Uma análise qualitativa foi tabulada de acordo com as respostas de cada pesquisador e, finalmente, o consenso foi obtido.

Em seguida, uma pesquisa com especialistas para avaliar a precisão e adequação dos conceitos discutidos e como eles estão relacionados foi realizada. Além disso, a tabela (Figura 39. Abordagens para interoperabilidade (FERNANDES et al., 2020b).) (FERNANDES et al., 2020b), que contempla a relação do impacto das abordagens de interoperabilidade pela ISO 14258 nas características do SoIS, também foi submetida para uma breve avaliação.

O grupo de especialistas foi formado por dois especialistas em SoIS. Entre eles, um deles é especialista em arquitetura de software. Os dois são especialistas em interoperabilidade. Um deles esteve indiretamente envolvido na condução do estudo. A escala *Likert* foi utilizada e os especialistas foram perguntados se: (i) eles concordam com os conceitos representados no quadro avaliativo de abordagens exibido na Figura 39; (ii) concordam com as relações estabelecidas entre os *links*; e (iii) concordam com a maneira como cada um dos estilos (Federado, Unificado, Integrado) podem potencialmente impactar nas características essenciais do SoIS. Os especialistas foram unânimes em concordar fortemente com a adequação e precisão dos resultados apresentados, apesar de destacarem o caráter especulativo de alguns dos resultados.

Quanto às discussões, há um pequeno viés nos resultados, uma vez que um dos especialistas esteve indiretamente envolvido na concepção do quadro avaliativo. No entanto, como houve consenso entre os três pesquisadores que também concordaram com os resultados, esse fato reduz as ameaças à validade. Um ponto importante diz respeito ao grau em que uma determinada característica é alcançada em um SoIS. Embora se conjecture que SoIS deva lidar integralmente com todas as suas características essenciais, há de se considerar que, a depender de como os vínculos de interoperabilidade ou como as regras de negócios que governam o SoIS sejam estabelecidas, o grau de autonomia pode ser afetado (FERNANDES et al., 2020b).

Isso significa que, dependendo de quanto o SoIS se baseie nas funcionalidades fornecidas por um ou mais constituintes, a sua independência operacional pode ser

consequentemente sacrificada, o que leva a uma nova fronteira de investigação: *em que grau cada uma das características de um SoIS é realmente abordada?* Os resultados favorecem essa discussão e trazem uma contribuição, uma vez que abordagens padrão adotados pela indústria e prescritas pela ISO 14258 podem afetar potencialmente o grau em que as características essenciais de um SoIS são afetadas. É necessária uma investigação mais aprofundada sobre as reflexões obtidas nesse estudo. No entanto, os resultados são uma percepção preliminar para pesquisas futuras.