

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO

EDISON ANDRADE MARTINS MORAIS

**Modelo Conceitual de Governança de
Sistemas-de-Sistemas com Instanciação
no Poder Judiciário**

Goiânia
2026



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE INFORMÁTICA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

Edison Andrade Martins Morais

3. Título do trabalho

Modelo Conceitual de Governança de Sistemas-de-Sistemas com Instanciação no Poder Judiciário

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);
- b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Valdemar Vicente Graciano Neto, Professor do Magistério Superior**, em 29/04/2026, às 17:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Edison Andrade Martins Morais, Professor do Magistério Superior**, em 30/04/2026, às 07:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6163528** e o código CRC **5B7EC312**.

EDISON ANDRADE MARTINS MORAIS

Modelo Conceitual de Governança de Sistemas-de-Sistemas com Instanciação no Poder Judiciário

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Informática da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação.

Área de concentração: Metodologias e Técnicas de Computação.

Orientador: Prof. Dr. Valdemar Vicente Graciano-Neto

Co-Orientador: Prof. Dr. Eliomar Araújo de Lima

Goiânia
2026

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Morais, Edison Andrade Martins
Modelo Conceitual de Governança de Sistemas-de-Sistemas com
Instanciação no Poder Judiciário [manuscrito] / Edison Andrade Martins Moraes. -
2026.
CCLII, 252 f.: 2026

Orientador: Prof. Dr. Valdemar Vicente Graciano-Neto; co-orientador: Dr. Eliomar
Araújo de Lima
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de
Informática (INF), Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação,
Goiânia, 2026.

Apêndice.

Inclui: lista de figuras, lista de tabelas.

1. Governança. 2. Sistemas-de-sistemas. 3. Governança de Sistemas-
de-sistemas. 4. Modelo Conceitual. 5. Poder Judiciário.

I. Graciano-Neto, Valdemar Vicente, orient. II. Lima, Eliomar Araújo de, co-orient.
III. Título.

CDU 004



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

INSTITUTO DE INFORMÁTICA

ATA DE DEFESA DE TESE

Ata Nº **05/2026** da sessão de Defesa de Tese de **Edison Andrade Martins Morais** que confere o título de Doutor em **Ciência da Computação**, na área de concentração em **Ciência da Computação**.

Aos trinta e um dias do mês de março de dois mil e vinte e seis, a partir das catorze horas, na sala 250 do Instituto de Informática, realizou-se a sessão pública de Defesa de Tese intitulada “**Contribuições ao Estado da Arte da Governança em Sistemas-de-Sistemas através de Mapeamento, Modelo Prescritivo, Instanciação no Judiciário e Avaliação por Especialistas**”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor Valdemar Vicente Graciano Neto (INF/UFG), com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor Eliomar Araújo de Lima (INF/UFG), coorientador; Professor Doutor Pedro Henrique Dias Valle (IME/USP), membro titular externo; Professor Doutor Rodrigo Pereira dos Santos (DIA/UNIRIO), membro titular externo; Professor Doutor Luis Fernando Ramos Molinaro (DCC/UnB), membro titular externo; Professora Doutora Nádia Félix Felipe da Silva (INF/UFG), membra titular interna. Com exceção do Presidente da Banca, todos os demais membros participaram por videoconferência. Durante a arguição os membros da banca fizeram sugestão de alteração do título do trabalho, conforme explicitado abaixo. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Tese tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor Valdemar Vicente Graciano Neto, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos trinta e um dias do mês de março de dois mil e vinte e seis.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

Modelo Conceitual de Governança de Sistemas-de-Sistemas com Instanciação no Poder Judiciário



Documento assinado eletronicamente por **Edison Andrade Martins Morais, Discente**, em 01/04/2026, às 07:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luis Fernando Ramos Molinaro, Usuário Externo**, em 01/04/2026, às 08:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Valdemar Vicente Graciano Neto, Professor do Magistério Superior**, em 01/04/2026, às 08:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Nadia Felix Felipe Da Silva, Professor do Magistério Superior**, em 01/04/2026, às 09:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eliomar Araujo De Lima, Professor do Magistério Superior**, em 01/04/2026, às 10:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Pedro Henrique Dias Valle, Usuário Externo**, em 01/04/2026, às 10:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **RODRIGO PEREIRA DOS SANTOS, Usuário Externo**, em 01/04/2026, às 11:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6099967** e o código CRC **DB2D525E**.

Referência: Processo nº 23070.006785/2026-43

SEI nº 6099967

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador(a).

Edison Andrade Martins Morais

É Analista de Sistemas do Tribunal de Justiça do Estado de Goiás desde 1997 e Professor Adjunto IV (20h) do Instituto de Informática (INF) da Universidade Federal de Goiás (UFG) desde 2009. Possui mestrado em Ciência da Computação pela UFG (2007), MBA em Governança nas Tecnologias da Informação pelo IPOG (2014), especialização em Análise e Projeto de Sistemas de Informação pela UFG (2003) e Graduação em Processamento de Dados pelo IUESO (1997). Principais experiências acadêmicas: docente em graduação e pós-graduação presencial e a distância (EAD), tutor e conteudista para EAD. Principais experiências profissionais: Gestão em TI, Governança de TI, Gerenciamento de Serviços de TI, Gestão de Processos de Negócio (especialmente Processos de Software), Gestão de Contratos de TI, Engenharia de Software, Qualidade de Software, Análise e Projeto de Sistemas de Informação, Banco de Dados e Desenvolvimento de Software.

Ao meu pai, Luiz Edison Martins Moraes.
À minha mãe, Tânia Andrade Martins Moraes.
Ao amor da minha vida, Aline Back.

Agradecimentos

Minha gratidão mais profunda ao meu orientador, Prof. Dr. Valdemar Vicente Graciano-Neto. Este trabalho existe, em grande parte, graças à sua orientação atenta, paciência e suporte constante. Obrigado pela oportunidade e pela confiança que sempre depositou em mim, e por ser um verdadeiro parceiro na construção desta tese.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Eliomar Araújo de Lima, agradeço imensamente pela colaboração e pelo apoio técnico fundamental ao longo destes anos. Suas contribuições pontuais e a participação ativa em nossas discussões e produções científicas fizeram toda a diferença.

Um agradecimento especial ao Prof. Dr. Rodrigo Pereira dos Santos, coautor e parceiro de pesquisa, por aceitar participar da minha banca de qualificação e pela recepção generosa quando visitei o programa de doutorado da UNIRIO em setembro de 2024. Agradeço também à Profa. Dra. Nádia Félix Felipe da Silva pelas reflexões e contribuições valiosas que compartilhou durante a minha qualificação.

Aproveito para agradecer a todos os professores que passaram pelo meu caminho nesta jornada, os quais represento na figura do Prof. Dr. Renato de Freitas Bulcão Neto. Foi em sua disciplina de mapeamento sistemático, ainda em 2018, que os primeiros passos desta pesquisa foram dados.

Por fim, meu muito obrigado aos técnicos administrativos do Instituto de Informática. O apoio de vocês foi essencial para que eu pudesse atravessar este curso com tranquilidade.

O que o ontem nos deu foi experiência; o que o amanhã nos reserva é oportunidade. Que a sabedoria de não repetir o passado seja o alicerce para construir uma vida nova e autêntica, sem ser prisioneiro do que já passou.

Cora Coralina,
Adaptado.

Resumo

Morais, Edison. **Modelo Conceitual de Governança de Sistemas-de-Sistemas com Instanciação no Poder Judiciário**. Goiânia, 2026. 252p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás.

Contexto: Sistemas-de-Sistemas (SoS) reúnem sistemas constituintes independentes para gerar funcionalidades complexas. Embora a Governança de SoS (SoSG) seja um paradigma promissor para lidar com a complexidade em ambientes de SoS, a área carece de modelos prescritivos que permitam sua operacionalização, limitando-se majoritariamente a *frameworks* descritivos sem o devido rigor científico. **Objetivo:** Esta tese visa sistematizar o domínio da SoSG, por meio da proposição de um modelo conceitual de caráter prescritivo, culminando na demonstração de sua viabilidade técnica através da instanciação em um ambiente de SoS, exemplificado pelo conjunto de sistemas de um tribunal de justiça estadual brasileiro, o Tribunal de Justiça do Estado de Goiás (TJGO), caracterizados como um SoS. **Método:** Foi utilizada a *Design Science Research* (DSR). A pesquisa partiu de um Mapeamento Sistemático da Literatura para identificar lacunas no estado da arte. O modelo foi avaliado quantitativamente via pesquisa de opinião com especialistas. A demonstração prática ocorreu mediante a caracterização do modelo, seguida pela sua instanciação no SoS do TJGO. **Resultados:** O trabalho apresenta um Modelo Conceitual de SoSG avaliado por especialistas, com concordância sobre sua representatividade. A instanciação do modelo no TJGO confirmou sua viabilidade técnica e operacional, demonstrando que o artefato é capaz de organizar a complexidade tecnológica do tribunal sob uma estrutura de SoSG eficaz. **Conclusão:** Esta tese confirmou a viabilidade da proposta, demonstrando que o modelo pode ser utilizado para sistematização da área de SoSG, e servir como referência para sua evolução.

Palavras-chave

Governança, Sistemas-de-Sistemas, Governança de Sistemas-de-Sistemas (SoSG), Modelo Conceitual de SoSG, Sistemas de Informação para Tribunais de Justiça.

Abstract

Morais, Edison. **Systems-of-Systems Governance Conceptual Model with Instantiation in the Judicial Branch**. Goiânia, 2026. 252p. PhD. Thesis. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás.

Context: Systems-of-Systems (SoS) assemble independent constituent systems to generate complex functionalities. Although Systems-of-Systems Governance (SoSG) is a promising paradigm for managing complexity in SoS environments, the field lacks prescriptive models that enable the operationalization of SoSG, being largely limited to descriptive *frameworks* without due scientific rigor. **Objective:** This thesis aims to systematize the SoSG domain by proposing a prescriptive conceptual model, culminating in the demonstration of its technical feasibility through instantiation in a real-world SoS environment, exemplified by the set of systems of a Brazilian state court, the Court of Justice of the State of Goiás (TJGO), characterized as an SoS. **Method:** *Design Science Research* (DSR) was employed. The research began with a Systematic Literature Mapping to identify gaps in the state of the art. The model was quantitatively evaluated via a *Survey* with experts. The practical demonstration occurred through the characterization of the model, followed by its instantiation within the TJGO SoS. **Results:** This work presents a Conceptual Model of SoSG evaluated by experts, with agreement on its representativeness. The instantiation of the model at TJGO confirmed its technical and operational feasibility, demonstrating that the artifact is capable of organizing the court's technological complexity under an effective SoSG structure. **Conclusion:** This thesis confirmed the feasibility of the proposal, demonstrating that the model can be used to systematize the SoSG field and serve as a reference for its evolution.

Keywords

Governance; Systems-of-Systems (SoS); Systems-of-Systems Governance (SoSG); SoSG Conceptual Model; Information Systems for Courts.

Sumário

Lista de Figuras	17
Lista de Tabelas	19
1 Introdução	20
1.1 Contextualização	20
1.2 Problema	23
1.3 Hipótese	24
1.4 Questão de Pesquisa Central	25
1.5 Objetivos	26
1.6 Organização do Texto	27
1.7 Publicações e Submissões	29
2 Fundamentação Teórica	31
2.1 Fundamentos de Sistemas-de-Sistemas	31
2.1.1 Taxonomias de SoS	32
2.1.2 Categorias de SoS	34
2.2 Fundamentos de Governança	37
2.2.1 Taxonomias de Governança	39
2.2.2 Princípios e Dimensões	41
2.2.3 Governança de Tecnologia da Informação e Alinhamento Estratégico	42
2.3 Governança de Sistemas-de-Sistemas (SoSG)	45
2.3.1 Resultados de um Mapeamento Sistemático da Literatura	45
2.3.2 Conceitos de SoSG	47
2.3.3 Contribuições do Mapeamento	50
2.3.4 Oportunidades e Desafios	51
2.3.5 Trabalhos Relacionados	53
2.4 Considerações Finais	54
3 Procedimentos Metodológicos	55
3.1 Metodologias de Pesquisa Relacionadas	55
3.1.1 Elementos da DSRM no Contexto deste Trabalho	56
3.2 Discussão sobre a Metodologia Utilizada	58
3.2.1 Método Científico	58
Empirismo e Positivismo em Computação	61
3.2.2 Abordagem de Pesquisa	63
3.2.3 Métodos de Pesquisa	65
3.2.4 Estilos de Pesquisa em Computação	66
3.3 Classificação da Tese e Contribuições Esperadas	68

3.4	Considerações Finais	68
4	Uma Proposta de um Modelo Conceitual de SoSG Prescritivo (PreSoSG)	70
4.1	Método de Pesquisa	71
4.2	Modelo Conceitual de SoSG Proposto	72
4.2.1	Pacote SoS	74
4.2.2	Pacote Governança	76
4.2.3	Pacote Processos	77
4.2.4	Pacotes Independência Operacional e Gerencial	78
4.2.5	Modelo Conceitual	79
4.3	Avaliação do Modelo	83
4.3.1	Planejamento	83
4.3.2	Execução	85
4.3.3	Análise	85
4.3.4	Modelo de SoSG Aprimorado	88
4.4	Limitações	89
4.5	Trabalhos Relacionados	90
4.6	Considerações Finais	92
4.6.1	Diretrizes para Operacionalização em Outros Domínios	93
4.6.2	Contribuições	93
4.6.3	Trabalhos Futuros	94
5	Caracterização de um Conjunto de Sistemas de Informação de um Tribunal de Justiça Estadual como um Sistema-de-Sistemas e Instanciação do Modelo Proposto	96
5.1	Método de Pesquisa	97
5.2	Condução do Estudo	98
5.2.1	Caracterização do Problema	98
5.2.2	Execução da Pesquisa de Opinião	100
5.2.3	Resultados e Discussão	101
5.2.4	Caracterização como um SoS	108
	Independência Operacional	109
	Independência Gerencial	110
	Distribuição	111
	Desenvolvimento Evolucionário	112
	Comportamento Emergente	112
5.2.5	Detalhamento do Artefato Proposto	113
5.3	Instanciação do PreSoSG para o SoS do TJGO	115
5.3.1	Índice iGovTIC-JUD	117
	Regras de Governança	118
5.3.2	Instanciação	122
5.3.3	Avaliação do Modelo Instanciado	130
	Planejamento	130
	Execução	132
	Análise	133
5.4	Limitações	137
5.5	Trabalhos Relacionados	138
5.6	Considerações Finais	140

5.6.1	Aplicação em Outros Domínios	141
5.6.2	Contribuições	142
5.6.3	Trabalhos Futuros	143
6	Conclusões	145
6.1	Contribuições	146
6.2	Respostas às Questões de Pesquisa	150
6.3	Limitações	152
6.4	Trabalhos Futuros	155
6.5	Considerações Finais	157
	Referências	158
A	Governança de Sistemas-de-Sistemas - Um Mapeamento Sistemático da Literatura	177
A.1	Protocolo do Mapeamento Sistemático	178
A.1.1	Informações Gerais Sobre o Mapeamento	178
A.1.2	Questões de Pesquisa	178
A.1.3	Identificação de Estudos	179
A.1.4	Seleção e Avaliação dos Estudos	183
A.2	Extração e Síntese dos Dados	188
A.2.1	Sobre a Questão de Pesquisa 1 (QP1)	197
A.2.2	Sobre a Questão de Pesquisa 2 (QP2)	198
A.2.3	Sobre a Questão de Pesquisa 3 (QP3)	200
A.3	Ameaças à Validade	201
A.4	Considerações Finais	202
B	Survey - Formulário de Avaliação dos Sistemas de Informação do Tribunal de Justiça do Estado de Goiás	204
C	Survey - Evaluation Form of SoSG Conceptual Model	212
D	Survey - Evaluation Form of a Conceptual Model of SoSG Instantiated in a Brazilian State Court Context	228

Lista de Figuras

2.1	Taxonomia para SoS. Fonte: [57].	33
2.2	Relação entre Governança e Gestão. Fonte: [171].	39
3.1	Atividades definidas pela DSRM.	57
4.1	Método de Pesquisa para Construção do Modelo Conceitual.	72
4.2	Visão de Alto Nível do Modelo Conceitual.	73
4.3	Visão de Alto Nível do Modelo Conceitual em UML.	74
4.4	Modelo SoS.	75
4.5	Modelo Governança.	76
4.6	Modelo Processo.	77
4.7	Modelo Independência Operacional.	78
4.8	Modelo Independência Gerencial.	78
4.9	PreSoSG.	80
4.10	PreSoSG Aprimorado.	89
5.1	Método de Pesquisa.	98
5.2	Questão de Pesquisa 1.	102
5.3	Questão de Pesquisa 2.	102
5.4	Questão de Pesquisa 3.	102
5.5	Questão de Pesquisa 4.	103
5.6	Questão de Pesquisa 5.	104
5.7	Questão de Pesquisa 6.	105
5.8	Questão de Pesquisa 7.	106
5.9	Questão de Pesquisa 8.	106
5.10	Questão de Pesquisa 9.	107
5.11	Representação do Conjunto de SI do TJGO.	114
5.12	Organização do PreSoSG Instanciado em Alto Nível.	116
5.13	Composição geral do iGovTIC-JUD 2021-2026. Fonte: [36].	119
5.14	Organização do PreSoSG Instanciado em UML.	123
5.15	Representação em Alto Nível da Caracterização do Conjunto de SI do TJGO como um SoS.	124
5.16	PreSoSG de SoSG Instanciado no TJGO.	126
A.1	Macroprocesso de Mapeamento Sistemático.	178
A.2	Processo de Identificação dos Estudos.	180
A.3	Processo de Seleção e Avaliação dos Estudos.	183
A.4	Estratégia para Seleção dos Estudos.	184

A.5	Estratégia para Extração, Síntese dos Dados e Apresentação dos Resultados.	188
A.6	Distribuição de Estudos por Ano de Publicação.	189
A.7	Distribuição de Estudos por Tipo de Veículo de Publicação.	190
A.8	Distribuição de Estudos por Veículo de Publicação.	191
A.9	Distribuição de Estudos por Tipo de Pesquisa, Tipo de Avaliação e Tipo de Validação.	193
A.10	Uso prático da Governança de SoS.	198

Lista de Tabelas

4.1	Relação entre RQs e Métricas.	84
4.2	Respostas às Questões de Pesquisa - $n = 6$.	85
4.3	Análise Quantitativa e Alinhamento com as Métricas.	86
5.1	Síntese das Respostas às Questões de Pesquisa.	107
5.2	Relação entre CEQs e Métricas (Modelo Instanciado).	132
5.3	Respostas às Questões de Pesquisa (Avaliação do Modelo Instanciado - $n = 3$).	133
5.4	Análise Quantitativa e Alinhamento com as Métricas (Avaliação do Modelo Instanciado).	134
5.5	Avaliação dos Modelos: Proposto vs. Aprimorado.	134
A.1	Detalhamento do Quantitativo de Exclusões por Base	185
A.2	Quantitativo de estudos encontrados, duplicados, analisados, rejeitados e aceitos por Critério/Base	185

Introdução

Este capítulo introduz os temas centrais da tese e detalha a estrutura que fundamenta a pesquisa. Inicialmente, apresenta-se a contextualização do tema e sua justificativa, seguida pela delimitação do problema investigado e pela formulação da hipótese de trabalho. Na sequência, são definidas a questão de pesquisa central e suas subquestões, acompanhadas pelos objetivos gerais e específicos que norteiam a execução do estudo. O texto descreve ainda a organização lógica de todos os capítulos e apêndices que compõem o documento, encerrando-se com o detalhamento das publicações e submissões científicas geradas ao longo do doutorado.

1.1 Contextualização

Sistemas-de-Sistemas (SoS¹, do inglês *Systems-of-Systems*) configuram arranjos de sistemas, independentes e interconectados, que interagem para prover funcionalidades superiores à soma de suas partes individuais. Cada sistema integrante do SoS é denominado constituinte e preserva sua autonomia e objetivos específicos, embora contribua para os propósitos globais do SoS [109, 125]. Sistemas de gerenciamento de tráfego aéreo [205], transporte inteligente [201] e cidades inteligentes [64] exemplificam a aplicação de SoS. Independentemente da natureza do arranjo, cada constituinte apresenta complexidade e desafios particulares, e sua interconexão e colaboração permitem o funcionamento coeso (capacidade de seus constituintes trabalharem juntos de forma harmoniosa e integrada) e eficaz (alcance de seus objetivos de forma eficiente) do sistema global [19, 78].

No domínio dos Sistemas de Informação (SI), os SoS assumem relevância estratégica, operando tanto como elementos integrantes quanto como ferramentas de gestão de complexidade. A inter-relação entre esses campos é multifacetada, podendo ser analisada sob diversas perspectivas [62]: (i) SI como constituinte de um SoS; (ii) SI

¹Deste ponto em diante, o acrônimo SoS será utilizado de forma intercambiável para denotar ambas as formas do termo (singular e plural): Sistema-de-Sistemas e Sistemas-de-Sistemas.

para a gestão da complexidade em SoS; (iii) SoS para fornecer serviços de informação; (iv) Evolução contínua, explicadas a seguir.

- i. *SI como constituinte de SoS.* Muitas vezes, os SI atuam como constituintes de um SoS. Por exemplo, um sistema de controle de cadeia de suprimentos é um SoS que inclui diversos SIs utilizados para gerenciar fornecedores, fabricantes, distribuidores, etc.
- ii. *SI para gerenciar SoS.* Os SI podem ser utilizados para gerenciar a complexidade de um SoS, coletando dados sobre o desempenho dos seus constituintes, identificando problemas e otimizando o funcionamento do sistema como um todo.
- iii. *SoS para fornecer serviços de informação.* Um SoS pode ser projetado para fornecer serviços de informação, como um sistema de *e-commerce*, por exemplo, que integra diversos sistemas para processar pedidos, gerenciar estoque e realizar pagamentos.
- iv. *Evolução contínua.* Com o avanço das tecnologias da informação, a relação entre SoS e SI está em constante evolução, uma vez que os SI têm se tornado cada vez mais complexos e interconectados, dando origem a novos tipos de SoS.

O GranDSI-BR² [20], documento referencial para a pesquisa em SI no Brasil, delineou os principais desafios e oportunidades para a área entre 2016 e 2026. Este marco posiciona os SoS como um domínio de investigação fundamental, dada sua complexidade e transversalidade em diversos setores. O documento define três pontos principais relacionados aos SoS: (i) Grandes desafios; (ii) Impacto social; (iii) Formação de profissionais, detalhados a seguir:

- i. *Grandes desafios.* Compreendem a necessidade de novas metodologias para gerenciar a complexidade, a interoperabilidade e a segurança em ambientes tecnológicos heterogêneos e distribuídos.
- ii. *Impacto social.* Refere-se ao potencial transformador dos SoS em setores como saúde, transporte e energia, contribuindo para a resolução de problemas sociais e para o desenvolvimento sustentável.
- iii. *Formação de profissionais.* Envolve a crescente demanda por profissionais qualificados, exigindo a revisão de currículos e a oferta de programas de pós-graduação especializados.

Embora esses grandes desafios evidenciem a importância estratégica dos SoS, a operacionalização desses ambientes esbarra em obstáculos práticos significativos que,

²GranDSI-BR: *Grand Research Challenges in Information Systems in Brazil 2016-2026*. Disponível em <https://books-sol.sbc.org.br/index.php/sbc/catalog/view/28/99/249>

se negligenciados, podem comprometer sua viabilidade. A ausência de mecanismos eficazes de coordenação e controle em ambientes distribuídos frequentemente resulta em conflitos de objetivos entre seus constituintes, ineficiências na gestão de sistemas legados e vulnerabilidades na proteção de dados e na disponibilidade de serviços. Tais problemas podem acarretar prejuízos financeiros e falhas operacionais sistêmicas, tornando imperativa a busca por ferramentas que assegurem seu funcionamento coeso e o alinhamento estratégico. Nesse cenário, a governança surge como um paradigma com potencial para mitigar riscos e organizar a complexidade dos SoS. Com notoriedade global consolidada a partir de 1991 via publicações do Banco Mundial, o termo abrange o conjunto de valores e processos que regem a gestão organizacional [150]. Sua atuação foca no direcionamento e supervisão, assegurando o alcance eficiente dos objetivos institucionais.

Contudo, apesar da maturidade da governança em estruturas organizacionais convencionais, mecanismos tradicionais de gestão de sistemas mostram-se insuficientes quando transpostos para o domínio de SoS. A multiplicidade de perspectivas e a descentralização do poder em SoS exigem que os pilares de direcionamento sejam adaptados para coordenar colaborações multiorganizacionais sem comprometer a autonomia técnica de cada constituinte. Além disso, a literatura científica contemporânea apresenta uma lacuna crítica, uma vez que as abordagens de governança aplicadas aos SoS disponíveis são predominantemente descritivas, e carecem de modelos prescritivos³ e definições semânticas rigorosas que permitam a operacionalização e a medição da eficácia dos SoS em ambientes reais.

Sob essa ótica, esta tese se justifica pela premissa de que a aplicação dos paradigmas de Governança no contexto dos SoS é determinante para a viabilidade e a eficácia operacional desses ambientes complexos.

Além de endereçar desafios críticos de coordenação e alinhamento, este trabalho propõe-se a expandir a fronteira do conhecimento na área, fornecendo subsídios teóricos e práticos para a consolidação da Governança de SoS (doravante denominada SoSG, do inglês *Systems-of-Systems Governance*) como um domínio científico emergente. Estudos apontam que se trata de um paradigma promissor [117], e que, por se tratar de uma área relativamente nova e não consolidada, há diversas lacunas e desafios [121]. Questões como dificuldade de operacionalização dos SoS (uma vez que não é trivial lidar com os desafios e propor soluções em ambientes tão complexos e dinâmicos como estes), a não existência de uma definição estrita e consensual na literatura, além da ausência de

³Um modelo prescritivo consiste em uma representação que objetiva não apenas descrever uma realidade, mas estabelecer diretrizes e regras rigorosas para a sua operacionalização.

propostas de representações (*frameworks*, modelos ou metamodelos) de SoSG, dentre outras, são considerados desafios para área, e serão objetos de discussão neste trabalho.

1.2 Problema

Não obstante a relevância da SoSG, a literatura científica apresenta uma lacuna crítica quanto a definições semânticas rigorosas e modelos prescritivos, restringindo-se majoritariamente a *frameworks* descritivos. Um Mapeamento Sistemático [121] e uma Revisão Abrangente [117] recentes (2024 e 2025, respectivamente), indicam a predominância de abordagens puramente descritivas, as quais carecem do rigor metodológico necessário para orientar organizações na implementação de diretrizes de governança em ambientes de SoS. Não existem propostas de modelos prescritivos que permitam a operacionalização da governança nesses ambientes, dificultando a medição da sua eficácia e a aplicação sistemática dos princípios de governança, como transparência, responsabilidade e sustentabilidade, por exemplo. Além disso, ambientes reais de SoS apresentam alta complexidade e interdependência arquitetural, mas raramente são geridos sob a ótica formal do SoS, o que resulta em diversos problemas, como ineficiências na gestão de sistemas legados e na evolução tecnológica do SoS como um todo.

A gestão desses ambientes sem uma estrutura de governança sistematizada e prescritiva tende a gerar consequências operacionais e estratégicas inadequadas, especialmente quando é realizada de forma fragmentada ou puramente descritiva, resultando na incapacidade de alinhar as decisões técnicas dos constituintes aos objetivos estratégicos globais. Nesse cenário, a ineficiência na gestão de sistemas legados atua como um entrave sistêmico. Sem diretrizes claras de controle, esses sistemas tornam-se componentes de difícil manutenção e integração. Essa ineficiência não se restringe a custos técnicos. Ela também impede a evolução tecnológica do SoS como um todo, gerando uma “paralisia evolutiva” em que pode ser mais difícil implementar novas funcionalidades sem comprometer a estabilidade do sistema como um todo.

Essa descoordenação acaba por favorecer um efeito em cascata de prejuízos, seja por conflito em objetivos, onde os constituintes, ao exercerem sua independência gerencial sem supervisão, podem priorizar metas locais que prejudicam a missão global, resultando em desperdício de esforço e duplicação de processos. Ou pela ausência de monitoramento centralizado sobre interações dinâmicas, elevando o risco de comportamentos emergentes inadequados, os quais podem levar a falhas críticas de segurança ou perda de integridade de dados. Ou pela falta de conformidade normativa legal e institucional, comprometendo a transparência e a eficiência do SoS.

Considerando este contexto, o problema central investigado nesta tese não é meramente a ausência de um artefato conceitual para representação da SoSG, mas sim a degradação da eficácia operacional e o aumento dos riscos em ambientes de SoS que operam sem mecanismos auditáveis de avaliação, direcionamento e controle, que podem ser garantidos pela governança.

É importante salientar, entretanto, que **o problema não está relacionado ao fato de não existir modelos de SoSG, mas no impacto causado pela sua falta**. Neste sentido, a carência de modelos prescritivos no domínio de SoSG não deve ser vista apenas como uma lacuna acadêmica, mas como um fator que gera impactos operacionais críticos em ambientes de SoS. Sem um modelo que oriente a operacionalização, a governança limita-se a *frameworks* descritivos que não proveem diretrizes acionáveis, resultando na incapacidade de medir a eficácia das regras impostas e na dificuldade de garantir a aplicação sistemática de princípios como transparência e responsabilidade. Neste sentido, o principal impacto dessa lacuna tende a ser dificuldade de evolução do SoS, uma vez que não existe uma estrutura de controle que harmonize o comando central com a autonomia técnica. As atualizações tecnológicas tendem a ser mais arriscadas, pois não há clareza sobre como as mudanças em um sistema constituinte afetarão a missão global do SoS.

1.3 Hipótese

Esta tese defende a **hipótese de que a proposição de um Modelo Conceitual de SoSG, com caráter prescritivo, fornece os subsídios teóricos e estruturais necessários para fundamentar a sistematização do domínio**. A premissa central é que tal artefato permite superar a lacuna de definições estritas na literatura, oferecendo uma estrutura capaz de unificar as funções clássicas de governança (avaliar, direcionar e monitorar) às propriedades principais de SoS, como independências operacional e gerencial.

Sistematizar significa converter o conhecimento acumulado sobre um determinado domínio em artefatos. No contexto desta tese consiste em organizar o que está disperso na literatura em uma estrutura coerente, servindo como ponto de partida para a concepção da área de SoSG.

Dessa forma, a viabilidade desta hipótese não reside apenas na pretensão de exaurir a instrumentalização da área, por meio de um artefato que permita que a governança seja exercida de fato, mas sim na capacidade do modelo em prover o rigor sintático e a precisão semântica necessários para transformar a governança de uma abstração teórica

em uma ferramenta de gestão auditável e operacional em ambientes de SoS. A comprovação desta hipótese é sustentada pela viabilidade técnica da unificação desses conceitos e pela eficácia da sua aplicação prática em um cenário jurídico real.

1.4 Questão de Pesquisa Central

A definição das questões de pesquisa desta tese fundamenta-se na necessidade de superar a predominância de abordagens puramente descritivas no domínio de SoSG, as quais carecem do rigor necessário para a operacionalização em cenários reais, conforme mencionado nos parágrafos anteriores. O propósito dessa investigação reside na tensão intrínseca entre a necessidade de controle (funções de governança) e a preservação da autonomia (propriedade de SoS) [172]. Sem uma estrutura que harmonize esses conceitos, o gerenciamento de ambientes complexos como os SoS permanece fragmentado, elevando os riscos de falhas sistêmicas e não conformidade normativa.

Dessa forma, esta tese é guiada pela seguinte Questão de Pesquisa Central (QPC): **De que forma um Modelo Conceitual prescritivo de SoSG pode ser estruturado e instanciado?** Para endereçar a QPC e materializar o Modelo Conceitual como a resposta científica a esse desafio, foram definidas as seguintes Subquestões de Pesquisa (SQP):

- *SQP1*. Qual é o estado da arte da SoSG na literatura científica e quais são as principais lacunas e desafios práticos que impedem a sua operacionalização? (Capítulo 2).
- *SQP2*. Quais são os conceitos, atributos e relacionamentos fundamentais que devem compor um Modelo Conceitual de SoSG para prover rigor sintático e precisão semântica superior às abordagens atuais? (Capítulo 4).
- *SQP3*. É possível instanciar o Modelo Conceitual de SoSG proposto em um ambiente real de SoS? (Capítulo 5).

O levantamento do estado da arte proposto em **SQP1** é indispensável para situar a pesquisa no cenário científico global, permitindo consolidar o conhecimento acumulado e evitar a duplicidade de esforços. A identificação de lacunas é o que fundamenta a necessidade de novos artefatos, pois revela onde os *frameworks* atuais falham, especificamente na carência de rigor sintático e na predominância de abordagens puramente descritivas que não oferecem guias claros para a prática. Ao investigar os desafios práticos de operacionalização, a pesquisa visa garantir o seu ciclo de relevância, assegurando que o modelo proposto não seja apenas uma abstração teórica, mas uma resposta viável às dificuldades reais de gestão de sistemas legados, conformidade normativa e conflitos de objetivos em ambientes de alta complexidade. Em suma, responder a esta questão permite transformar

o conhecimento disperso em uma base sólida que justifica e direciona a proposta de um modelo prescritivo e auditável.

A subquestão **SQP2** é importante para promover a transição do domínio de SoSG de um estado predominantemente descritivo para um patamar sistematizado e prescritivo, uma vez que literatura atual é caracterizada por *frameworks* que carecem de definições mais estritas, como já citado anteriormente. Ao definir a estrutura do artefato, a pesquisa estabelece o rigor sintático necessário para que o modelo possa existir. Além disso, a definição detalhada desses elementos é o que poderá prover a unificação entre as funções de governança e as propriedades de SoS. Portanto, responder a esta questão permite sistematizar a área de SoSG de forma prática.

Por fim, a subquestão **SQP3** é fundamental para transcender a abstração teórica e verificar a utilidade prática e a viabilidade técnica do Modelo Conceitual proposto em um cenário real de SoS. A importância da instanciação reside na demonstração de que o artefato proposto possui um caráter prescritivo, sendo capaz de absorver regras de negócio reais e requisitos normativos rigorosos, determinados pela governança, sem violar as propriedades do SoS. Responder a esta questão permite comprovar que a unificação das funções de governança às propriedades de SoS é operável por meio de um modelo que pode ser instanciado. Dessa forma, o artefato proposto deixa de ser apenas uma representação gráfica para se tornar uma referência para a replicação do método em diferentes domínios de SoS.

1.5 Objetivos

A partir da análise do problema, da hipótese, da questão de pesquisa principal e suas subquestões, e considerando que não foram identificadas na literatura consultada propostas de modelos prescritivos de SoSG disponíveis, **o Objetivo Central (OG) desta tese reside na sistematização do domínio da SoSG, por meio da proposição de um modelo conceitual de caráter prescritivo, culminando na demonstração de sua viabilidade técnica através da instanciação em um ambiente de SoS, exemplificado neste trabalho pelo conjunto de sistemas de um tribunal de justiça estadual brasileiro, o Tribunal de Justiça do Estado de Goiás (TJGO), caracterizados como um SoS.** Para a consecução deste objetivo, a pesquisa foi estruturada em quatro Objetivos Específicos: Consolidar o estado da arte; Desenvolver e validar o Modelo Conceitual; Caracterizar um ambiente de SoS jurídico; Operacionalizar a instanciação do modelo.

- *OE1. Consolidar o estado da arte.* Identificar o estado da arte em SoSG, as lacunas da literatura e desafios da área (Capítulo 2).

- *OE2. Desenvolver e validar o Modelo Conceitual.* Desenvolver e avaliar um Modelo Conceitual de SoSG junto a especialistas da área quanto à sua abrangência, completude e precisão semântica (Capítulo 4).
- *OE3. Caracterizar um ambiente de SoS jurídico.* Caracterizar o conjunto de sistemas de informação de um ambiente real (TJGO) como um SoS, avaliando a presença de suas propriedades fundamentais (Capítulo 5).
- *OE4. Operacionalizar a instanciação do modelo* Instanciar o modelo proposto no ambiente do SoS caracterizado no passo anterior (Capítulo 5, Seção 5.3).

Para o alcance destes objetivos, foi adotada a metodologia *Design Science Research* (DSR), detalhada no Capítulo 3. Tal escolha se justifica pela orientação da DSR à criação e avaliação de artefatos tecnológicos que visam à resolução de problemas organizacionais complexos, promovendo, concomitantemente, contribuições teóricas originais ao corpo de conhecimento científico da área. A organização dos capítulos da tese, detalhada na próxima seção, foi então estabelecida em conformidade direta com a consecução dos objetivos específicos aqui delineados. Cada capítulo foi planejado para endereçar as metas fundamentais do estudo, abrangendo desde a identificação do estado da arte e o desenvolvimento do modelo conceitual até a sua respectiva caracterização e instanciação em um ambiente real de SoS.

Com o objetivo de facilitar a referência técnica e a sistematização do domínio, o artefato central desta tese é denominado **PreSoSG** (do inglês, Prescriptive Systems-of-Systems Governance). A adoção desta nomenclatura atende às recomendações de prover um identificador claro para o modelo. O PreSoSG destaca-se, assim, como uma contribuição que visa superar a predominância de *frameworks* puramente descritivos identificados no estado da arte, oferecendo uma base para a evolução do domínio.

A essência do PreSoSG reside em seu caráter prescritivo. Um modelo prescritivo define-se como uma representação que não se limita a descrever ou documentar uma realidade existente, mas que estabelece diretrizes, padrões e regras rigorosas voltadas à sua operacionalização prática. No contexto da metodologia DSR [139, 187], este tipo de artefato é responsável por gerar conhecimento, que consiste em teorias de *design* ou soluções acionáveis destinadas a expandir o conhecimento organizacional.

1.6 Organização do Texto

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos e três apêndices, organizados de forma a detalhar desde a fundamentação teórica até a instanciação do artefato proposto. A estrutura detalhada nos capítulos reflete o encadeamento lógico da pesquisa, desde sua fundamentação teórica até a instanciação do artefato proposto. Como evidência da

solidez e do rigor científico desse percurso, os métodos, modelos e resultados obtidos foram desenvolvidos de forma relacionada, e submetidos à avaliação de especialistas e comunidade acadêmica.

- *Capítulo 1. Introdução.* Apresenta a contextualização do tema, a delimitação do problema de pesquisa, a hipótese de trabalho, as questões de pesquisa e os objetivos gerais e específicos. Este capítulo também descreve a relevância do estudo no cenário acadêmico e institucional, finalizando com o detalhamento das publicações e submissões científicas geradas durante o doutorado.
- *Capítulo 2. Fundamentação Teórica.* Estabelece a base conceitual sobre Governança e Sistemas-de-Sistemas (SoS). Aborda a evolução, taxonomias e dimensões da governança e as características e classes de SoS. Além disso, detalha os resultados de um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) que consolidou o estado da arte e as lacunas científicas em SoSG.
- *Capítulo 3. Procedimentos Metodológicos.* Descreve a adoção da *Design Science Research* (DSR) e o uso da metodologia DSRM para orientar a criação e avaliação dos artefatos propostos na tese. O capítulo compara a DSR com outras metodologias e posiciona o trabalho quanto ao método científico, abordagem, procedimentos técnicos e estilo de pesquisa em computação.
- *Capítulo 4. Uma Proposta de um Modelo Conceitual de SoSG.* Apresentando o modelo prescritivo desenvolvido. Detalha a organização do modelo em cinco pacotes semânticos (SoS, *Governance*, *Process*, OI e MI), sua especificação por meio de diagramas de classes da UML e os resultados da avaliação e refinamento do artefato junto a especialistas.
- *Capítulo 5. Caracterização de um Conjunto de Sistemas de Informação de um Tribunal de Justiça Estadual como um Sistema-de-Sistemas e Instanciação do Modelo Proposto.* Detalha a aplicação prática da tese no ambiente do Tribunal de Justiça do Estado de Goiás (TJGO). Descreve o processo de caracterização do conjunto de sistemas do tribunal como um SoS, e a subsequente instanciação do modelo conceitual.
- *Capítulo 6. Conclusões e Trabalhos Futuros.* Sintetiza as contribuições teóricas e práticas da pesquisa e fornece as respostas fundamentais às questões de pesquisa. O capítulo também discute as limitações do estudo e propõe diretrizes e perspectivas para o desenvolvimento de trabalhos futuros.
- *Apêndice A.* Apresenta o Protocolo do Mapeamento Sistemático da Literatura.
- *Apêndice B.* Apresenta a Pesquisa de Opinião de Caracterização dos Sistemas de Informação do TJGO.
- *Apêndice C:* Apresenta a Pesquisa de Opinião de Avaliação do Modelo Conceitual de SoSG.

- *Apêndice D*: Apresenta a Pesquisa de Opinião de Avaliação do Modelo Conceitual de SoSG instanciado no TJGO.

Os Capítulos 2, 4 e 5 foram desenvolvidos a partir de publicações detalhadas na próxima seção. Isso é importante porque consolida a contribuição científica desta tese ao longo das diversas etapas cumpridas ao longo doutorado, demonstrando o rigor e a solidez do percurso metodológico, assegurando que cada etapa da pesquisa contribua de forma efetiva para a base de conhecimento da área.

1.7 Publicações e Submissões

O Capítulo 2 foi construído a partir dos resultados da condução de um mapeamento sistemático publicado na revista *Brazilian Journal of Information Systems* (iSys), em 2024, atualmente Qualis A4, e de um capítulo de livro submetido à Editora Elsevier, que ainda está sendo avaliado. O Capítulo 4 foi expandido a partir de um artigo curto publicado na Trilha de Temas, Ideias e Resultados Emergentes em Sistemas de Informação (TIRE), do Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI) de 2024, sendo premiado como melhor artigo, e de um artigo completo submetido à conferência *System of Systems Engineering Conference*, em 2026, que está aguardando avaliação. Por fim, o Capítulo 5 foi desenvolvido a partir de um artigo completo publicado na conferência *The 14th IEEE/ACM International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and Software Ecosystems* (SESoS), de 2026. As publicações e submissões são detalhadas a seguir.

- **Capítulo 2**

- **Artigo completo publicado em revista:**

MORAIS, Edison A. M.; LIMA, Eliomar A.; GRACIANO-NETO, Valdemar V. *Implementation of Fairness Measures: Systems-of-Systems Governance: A Systematic Mapping of the Literature*. *iSys - Brazilian Journal of Information Systems*, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 17:1 – 17:44, 2024. DOI: [10.5753/isys.2024.3798](https://journals-sol.sbc.org.br/index.php/isys/article/view/3798). Disponível em: <https://journals-sol.sbc.org.br/index.php/isys/article/view/3798>.

- **Capítulo de livro publicado por editora:**

MORAIS, Edison A. M.; GRACIANO-NETO, Valdemar V.; LIMA, Eliomar A.; JÚNIOR, Gilmar T.; TERKINERDOGAN, Bedir; NAKAGAWA, Elisa Y. *Systems-of-Systems Governance: Foundations, Opportunities, Challenges and Applications*. In: Elsevier. *System of Systems Engineering: Innovations,*

Challenges, and Future Directions. [Local]: Elsevier, 2026. p. [página inicial-página final].

- **Capítulo 4**

- **Artigo curto publicado em conferência:**

- MORAIS, Edison A. M.; FRANÇA, Andrey G.; GRACIANO-NETO, Valdemar V.. Rumo a um Modelo Conceitual para Governança de Sistemas-de-Sistemas. In: Trilha de Temas, Ideias e Resultados Emergentes em Sistemas de Informação (TIRE) - Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI), 20. , 2024, Juiz de Fora/MG. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2024 . p. 303-308. DOI: https://doi.org/10.5753/sbsi_estendido.2024.238973.

- **Capítulo 5**

- **Artigo completo publicado em conferência:**

- MORAIS, Edison A. M.; SANTOS, Rodrigo P.; LIMA, Eliomar A.; GRACIANO-NETO, Valdemar V. *Characterizing the Set of Information Systems of a Brazilian State Court as a System-of-Systems*. In: *14th IEEE/ACM International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and Software Ecosystems (SESoS 2026)*. Rio de Janeiro: ACM, 2026. p. 1-8.

O capítulo seguinte apresenta a fundamentação teórica, provendo o embasamento conceitual necessário para compreensão das contribuições entregues por esta tese.

Fundamentação Teórica

Para sustentar as contribuições desta tese, este capítulo organiza-se em três eixos fundamentais: SoS, Governança e a intersecção entre ambos, denominada Governança de SoS. Primeiro, detalham-se os fundamentos e categorias de SoS. Segundo, exploram-se a evolução e os princípios da Governança. Terceiro, sintetiza-se o estado da arte em Governança de SoS mediante apresentação dos resultados de um Mapeamento Sistemático da Literatura sobre o assunto, discutindo desafios e lacunas da área. Por fim, analisam-se os trabalhos relacionados.

2.1 Fundamentos de Sistemas-de-Sistemas

Ao longo do tempo, a compreensão sobre o conceito de SoS evoluiu e expandiu-se, incorporando novos aspectos que reforçaram a distinção entre SoS e outros tipos de sistemas, por meio da definição de características como autonomia, pertencimento, conectividade, diversidade e emergência, por exemplo [18]. Já em 2015, Nielsen et al. [125] definem SoS de forma direta como um sistema no qual seus elementos são, eles próprios, sistemas, descrevendo o SoS como um conjunto composto por Sistemas Constituintes (CS, do inglês *Constituent Systems*) independentes, que atuam de forma conjunta em busca de um objetivo comum através da sinergia entre eles.

Atualmente, a norma ISO/IEC/IEEE 21841:2019 [78] define SoS com um conjunto de sistemas, ou elementos de sistemas, que interagem para fornecer uma capacidade única que nenhum de seus CSs conseguem realizar de forma isolada. CSs são sistemas independentes que formam partes do SoS. Cada CS possui seus próprios propósitos, recursos e objetivos originais, sendo desenvolvidos e geridos de forma independente, interagindo no SoS para criar uma capacidade por vezes nova e/ou exclusiva. Os SoS são construídos por meio da Engenharia de Sistemas-de-Sistemas (SoSE, do inglês *Systems-of-Systems Engineering*), que é o processo de planejamento, análise, organização, desenvolvimento e integração das capacidades de um conjunto de sistemas existentes e novos, incluindo infraestrutura entre sistemas, instalações e processos abrangentes, em uma capacidade de SoS que seja maior do que a soma das capacidades dos CSs.

Os SoS podem ainda ser vistos como arranjos de sistemas independentes, construídos em uma hierarquia de complexidade, organizados por meio de uma estrutura dinâmica que permite ao sistema se adaptar ao longo do tempo, e pode ser afetado por eventos externos (sistema aberto). Possui duas dimensões [109]: **Independência Operacional**, que permite que os CS operem de forma autônoma e útil por si sós, cumprindo seus propósitos originais mesmo fora do SoS [13]; **Independência Gerencial**, que garante que os CS permaneçam sob a gestão e autoridade decisória de suas próprias organizações proprietárias, mantendo metas administrativas independentes [100]. E três características essenciais que o diferenciam de sistemas tradicionais: **Distribuição**, que se caracteriza pela separação física ou lógica dos CS, cuja interação depende obrigatoriamente de tecnologias de conectividade e rede; **Desenvolvimento Evolucionário**, que reflete a constante transformação do SoS, que evolui e se adapta conforme as missões e as capacidades dos seus CSs, que mudam ao longo do tempo [57, 174]; **comportamento emergente**, que se manifesta por meio da sinergia entre os CS, gerando funcionalidades e capacidades globais que nenhum sistema membro conseguiria realizar isoladamente [78].

Adicionalmente a estas características, Graciano-Neto et al. [63] destacam que os SoS frequentemente exibem uma natureza oportunista. Ou seja, um constituinte é capaz de unir outros sistemas para formar um SoS para realizar uma missão, e deixar o SoS quando esta for concluída. Finalmente, também é pertinente considerar questões como a arquitetura dinâmica, que surge como uma consequência das outras propriedades que definem um SoS [132], além de questões como autonomia, heterogeneidade e auto-adaptação, que também têm sido atribuídas aos SoS ao longo dos anos [19].

2.1.1 Taxonomias de SoS

Em relação aos tipos, os SoS têm sido amplamente distinguidos pelo nível de controle gerencial [39], autoridade central e nível de colaboração [27, 39, 65]. As taxonomias principais classificam os SoS em quatro tipos, baseando-se no grau de independência operacional e gerencial de seus CSs [41, 109]: (i) Direcionado; (ii) Reconhecido; (iii) Colaborativo; (iv) Virtual. Estas taxonomias organizam os aspectos relevantes ou características essenciais dos SoS, fornecendo pontos de vista específicos que se alinham às preocupações das partes interessadas. Podem apresentar alguma sobreposição em sua construção, mas a falta de ortogonalidade não impede sua aplicação. Como a maioria das taxonomias não é nomeada explicitamente, elas são mais frequentemente referenciadas na prática pelos nomes de seus autores, além seus próprios nomes [78].

- i. *Direcionado (Directed)*. Existe um sistema central que possui autoridade sobre os CSs. Embora os CSs mantenham a capacidade de operar de forma independente, seu modo normal de operação é subordinado ao propósito central. Os CSs geralmente

abrem mão de parte de sua autonomia para atingir os objetivos globais do SoS [41, 109, 140].

- ii. *Reconhecido (Acknowledged)*. Os CSs operam de forma independente, mas há reconhecimento mútuo entre eles e seus objetivos comuns, e os CSs podem se comunicar e colaborar uns com os outros, enquanto mantêm sua autonomia. A autoridade é distribuída e as mudanças ocorrem com base em acordos cooperativos [41].
- iii. *Colaborativo (Collaborative)*. Não possui gestão centralizada. Os CSs colaboram ativamente entre si para atingir objetivos comuns, por meio do compartilhamento de informações, recursos e responsabilidades [41, 57, 109].
- iv. *Virtual (Virtual)*. É o tipo com o alinhamento mais fraco, e não possui uma autoridade central de gestão e de um propósito acordado. O comportamento do sistema emerge através de mecanismos relativamente invisíveis ou auto-organização. Os constituintes interagem entre si por meio de uma infraestrutura virtual, como a internet, por exemplo, e podem ser distribuídos, bem como heterogêneos em termos de tecnologias e plataformas [41, 98].

Gideon et al. [57] fundamentam a necessidade de uma classificação específica para SoS ao argumentarem que as dicotomias tradicionais de SI são inadequadas para descrever essa classe de sistemas. Embora os SoS possam envolver SIs como seus constituintes, sua natureza intrinsecamente dinâmica, aberta e centrada em pessoas exige uma abordagem taxonômica distinta. Nesse sentido, os autores propuseram uma taxonomia estruturada nos eixos de aquisição, operação e domínio, conforme ilustrado na Figura 2.1.

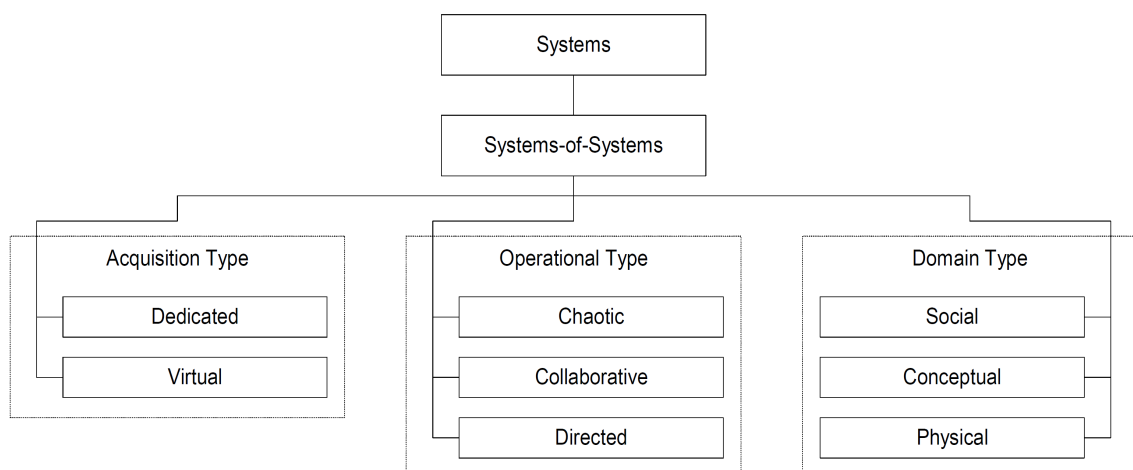


Figura 2.1: Taxonomia para SoS. Fonte: [57].

A classificação em relação à aquisição foi proposta por Allison e Cook [2] em 1998, considerando que os SoS poderiam surgir por diferentes razões. Em alguns casos, estes sistemas eram planejados, mas em outros casos eles não (no sentido de que, quando

os CSs foram adquiridos, a sua integração não era prevista). Os SoS foram classificados com base em como são adquiridos (*Acquisition Type*), como dedicados (*Dedicated*) ou virtuais (*Virtual*). Esta distinção era importante para determinar quanto esforço seria necessário para projetar a interação entre os CSs e alcançar o conceito de SoS. Os dedicados são conscientemente projetados e desenvolvidos desde o início para serem SoS. Nos virtuais, os CSs são projetados e adquiridos sem planejamento para se tornarem SoS. Importante destacar que esse tipo de sistema virtual, proposto em 1998, é diferente do conceito definido atualmente, descrito no início desta seção.

A classificação operacional (*Operational Type*) de SoS considera a maneira como operam e como os CSs interagem entre si. Um desses esquemas de classificação inclui três tipos de SoS: caóticos (*Chaotic*), direcionados (*Directed*) e colaborativos (*Collaborative*). Em SoS caóticos não existe uma autoridade de controle central ou entidade gerencial e, portanto, não há um propósito acordado. Ao contrário dos direcionados, que possuem autoridade, e dos colaborativos, onde os CSs interagem voluntariamente em função do objetivo comum. Ambos estão descritos no início desta seção.

Por fim, na classificação quanto ao domínio (*Domain Type*) foram propostas as divisões física (*Physical*), conceitual (*Conceptual*) e social (*Social*). SoS físicos são aqueles que operam no mundo físico, por meio de CSs tangíveis que envolvem interações entre seres humanos e o mundo físico ou que estão completamente inseridos no mundo físico sem interação humana. Ao contrário dos conceituais que são de natureza abstrata, que não requerem nenhuma intervenção humana. Já os sociais são aqueles em que a principal forma de interação ocorre entre pessoas ou organizações utilizando políticas e procedimentos.

2.1.2 Categorias de SoS

Para compreender as diferentes categorias de SoS, é importante contextualizá-los inicialmente dentro de uma classe mais ampla denominada **Sistemas Complexos (CS, do inglês *Complex Systems*)**. Os CS referem-se a sistemas de grande escala cujas propriedades globais resultam da interação dinâmica de múltiplos elementos, onde não é possível compreender o todo apenas pela análise isolada de suas partes [96, 189]. A relação entre CS e SoS é de conjunto e subconjunto: **todo SoS é um CS, mas nem todo CS é um SoS**. Essa distinção reside no fato de que os SoS são caracterizados pelas independências operacional e gerencial de seus constituintes, propriedades que sistemas complexos “monolíticos” (como um supercomputador ou um Boeing 747, por exemplo) não possuem [45, 117]. Enquanto CS típicos podem ter uma autoridade central única, os SoS emergem de alianças sociotécnicas de sistemas independentes que mantêm seus próprios objetivos mesmo fora da colaboração.

Sob esse prisma de complexidade, a literatura identifica categorias (ou classes) específicas de SoS que se distinguem pelo seu fator dominante. As mais conhecidas são os Sistemas-de-Sistemas de Informação (SoIS) [51, 62, 174], Sistemas-de-Sistemas Intensivos em Software (SiSoS) [59, 164], Sistemas-de-Sistemas Ciber-Físicos (CPSoS) [56] e Federação de Sistemas (FoS) [104, 153]. Tratam-se de categorias especiais de SoS com características próprias, que os diferem dos SoS tradicionais. Esta categorização tende a simplificar a compreensão sobre a natureza desses sistemas complexos, especialmente o fator dominante do conjunto, seja a predominância de software que molda o *design* e a evolução no SiSoS, ou a forte orientação a processos de negócio e fluxo de informação nos SoIS, o que é importante para selecionar as estratégias de engenharia e modelagem mais adequadas para cada caso.

Sistemas-de-Sistemas de Informação (SoIS, do inglês *Systems-of-Information Systems*). Se concentra na integração de múltiplos SI heterogêneos para prover informações e serviços de forma abrangente, representando uma evolução natural dos SI sob o prisma da complexidade. Embora possuam características específicas como autonomia e necessidade de evolução contínua, evidências recentes sugerem que esta classe é a mais prevalente no domínio de SoS. Um estudo exploratório conduzido por Junior et al. [79] investigou se os SoIS representariam a maioria dos SoS e constatou que, embora apenas 2% dos trabalhos utilizem explicitamente o termo SoIS, cerca de 67% dos estudos analisados descrevem sistemas que possuem ao menos um SI como constituinte. Essa descoberta indica que a maioria dos SoS relatados na literatura são, na prática, SoIS, reforçando que a subutilização da nomenclatura oculta a predominância desta categoria.

Sistemas-de-Sistemas Intensivos em Software (SiSoS, do inglês *Software-intensive Systems-of-Systems*). Gonçalves et al. [59] propuseram um modelo conceitual que estende a norma internacional ISO/IEC/IEEE 42010 [77], adaptando a definição original de Sistemas Intensivos em Software para a realidade complexa dos SoS. Nesta categoria o software influencia essencialmente o *design*, a construção, a implantação e a evolução do sistema como um todo. Enquanto um SoS convencional é um conjunto de sistemas independentes que interagem para uma capacidade única, o SiSoS é caracterizado pela dominância de software, o que significa que o sistema global não pode operar ou cumprir sua missão principal sem a contribuição fundamental de seus CSs baseados em software. O software é o fator dominante na composição do sistema, sendo que o SiSoS é incapaz de realizar sua missão global ou operar sem os CSs de software. Devido à natureza evolutiva do software, a arquitetura de um SiSoS deve ser capaz de evoluir e reagir dinamicamente às mudanças nos CSs ou no ambiente para manter a colaboração funcional. É importante destacar que o limiar que separa estas classes de SoS é tênue, visto que os outros tipos de SoS abordados aqui são também SiSoS, e um SoIS pode também ter sistemas ciberfísicos como constituintes.

Sistemas-de-Sistemas Ciber-Físicos (CPSoS, do inglês *Cyber-Physical Systems-of-Systems*). Integra constituintes computacionais (cibernéticos) e processos físicos de forma coordenada para fornecer capacidades únicas que nenhum de seus constituintes conseguiria realizar isoladamente. Diferente de um sistema ciber-físico monolítico, um CPSoS é composto por CSs independentes que interagem entre si, onde a TI atua como o principal habilitador para a funcionalidade, o desempenho e a conectividade do conjunto. O CPSoS vincula três tipos fundamentais de elementos: o cibernético (software, redes, computação em nuvem), o físico (sensores, atuadores, infraestrutura material) e, frequentemente, o humano. Exemplos de CPSoS incluem as redes de energia inteligentes (*Smart Grids*), sistemas de transporte inteligentes, cidades inteligentes e redes de vigilância ambiental, onde múltiplos sistemas autônomos precisam cooperar sob condições físicas variáveis.

Federação de Sistemas (FoS, no inglês *Federation of Systems*). É caracterizada por um grau extremamente elevado de heterogeneidade, autonomia e distribuição geográfica. Diferente de SoS tradicionais, uma FoS é frequentemente marcada por dimensões sociopolíticas, transculturais e transnacionais, onde os CSs operam juntos sob interesses mútuos, mas sem uma autoridade central coercitiva. Os CSs podem pertencer a diferentes domínios, nações ou culturas, possuindo tecnologias e ciclos de vida completamente distintos, mantêm um nível de independência muito alto, participando da federação apenas enquanto houver benefícios mútuos ou objetivos compartilhados. A coordenação é alcançada por meio de padrões de interface e acordos voluntários, não por uma gestão centralizada, e a arquitetura do sistema é, na verdade, o conjunto de padrões de comunicação que permitem a troca de informações entre os membros.

Mais recentemente, Torkjazi et al. [178] apresentaram uma taxonomia para os **Sistemas de Sistemas Autônomos (SoAS, do inglês *System of Autonomous Systems*)**, uma classe que emerge da rápida evolução da Inteligência Artificial e do Aprendizado de Máquina [110, 146]. Diferente dos SoS tradicionais, compostos por CSs com comportamentos e ciclos de vida bem definidos, os SoAS integram sistemas capazes de aprendizado em tempo real e tomada de decisão autônoma, atuando de forma independente com base em observações do ambiente operacional. Para caracterizar essa nova classe, os autores introduziram uma taxonomia fundamentada no ciclo OODA (Observar, Orientar, Decidir e Agir), que define sete níveis de colaboração e compartilhamento de informações entre os sistemas. O objetivo dessa abordagem é fornecer princípios arquiteturais que permitam ao SoAS alcançar capacidades globais superiores e reduzir a carga de trabalho dos operadores humanos, permitindo que o metassistema execute missões complexas em ambientes incertos sem a necessidade de intervenção direta constante.

A próxima seção trata dos fundamentos sobre Governança.

2.2 Fundamentos de Governança

O vocábulo Governança remonta ao latim *gubernare*, cujo significado é governar ou dirigir, derivado do grego *kubernan*, com sentido relacionado à ideia de direção e controle. Sua aplicação sistemática consolidou-se paralelamente à ascensão das grandes corporações no período industrial [7]. O conceito de governança se consolidou nos Estados Unidos em 1929, durante um período conhecido como a Grande Depressão [53], e se popularizou principalmente a partir do ano de 2002 com a lei Sarbanes-Oxley [196], criada em reação a dois dos maiores escândalos financeiros da história americana até então, os casos Enron [116] e WorldCom [26]. Em 1992, no Reino Unido, surge o primeiro relatório que apresenta a definição dos princípios fundamentais para boas práticas de governança, o *Cadbury Report* [31, 169], que serviu como referência para criação de documentos semelhantes em outros países. Já em 1999 (atualizado em 2015), a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, do inglês *Organization for Economic Co-operation and Development*) publicou um conjunto de princípios para orientar a governança corporativa [130], que serve de referência para governança em todo o mundo até os dias atuais.

Governança, de forma ampla, se refere à forma como uma organização ou sociedade é gerida e como as suas decisões são tomadas. É definida como o conjunto de valores, princípios, papéis, propósitos, regras e processos que rege o mecanismo de gestão das empresas [17, 134], e pode ser observada sob duas perspectivas principais: no sentido político, em que representa o mecanismo pelo qual as sociedades orientam seus negócios e relações sociais, exercendo o poder na administração de recursos econômicos e sociais de um país visando seu desenvolvimento; e no sentido organizacional, em que se manifesta como o ato de direcionar, controlar e supervisionar, utilizando um conjunto de mecanismos, processos e relações para garantir que a organização seja gerida com o objetivo de criar valor no longo prazo para todas as partes interessadas [151].

Em outro viés, relacionado principalmente à forma de governar, é definida como o conjunto de normas, leis e regulamentos, sejam eles públicos ou privados, que organizam, direcionam e comandam as relações entre os controladores e administradores das empresas e seus investidores, focando na minimização de conflitos existentes entre essas partes [170]. Nesse contexto, é esperado que a governança forneça uma série de benefícios, especialmente aqueles ligados à identificação e mitigação de riscos. Isso resulta em um aumento da transparência organizacional, melhorando a reputação das empresas como um todo. Além disso, auxilia na identificação de fraudes, indícios de corrupção e conflitos de interesse por meio da definição de processos e controles mais eficientes, uma vez que exige a divulgação de informações organizacionais de forma clara e acessível, tornando as empresas mais transparentes e, conseqüentemente, mais

confiáveis e atrativas para investidores, clientes e parceiros [54].

Ainda no sentido de governar, trata-se do conjunto de mecanismos, processos e relações que garantem que as organizações sejam dirigidas e controladas com o objetivo de criar valor no longo prazo para todas as partes interessadas. Em outras palavras, governança é o ato de governar, mas não no sentido político, e sim no sentido de (i) direcionar, (ii) controlar e (iii) supervisionar [150], cujas ações interligadas visam garantir que uma organização alcance seus objetivos de forma eficiente e eficaz.

- i. *Direcionar*. Estabelecer objetivos estratégicos e prioridades, distribuindo recursos e alinhando a visão organizacional para guiar as ações da instituição.
- ii. *Controlar*. Monitorar o desempenho e indicadores para detectar desvios, gerir riscos e implementar medidas corretivas que garantam o alcance das metas.
- iii. *Supervisionar*. Verificar a conformidade das atividades com normas estabelecidas, orientando colaboradores e avaliando o desempenho individual para prover feedback constante.

Estes papéis de controle, direcionamento e supervisão são desempenhados por diferentes entidades. Na governança pública, por exemplo, existem diversos órgãos de controle e fiscalização que definem mecanismos de governança tanto para organizações públicas quanto privadas. Órgãos como tribunais de contas, controladorias, ministérios públicos, conselhos e agências de regulação geralmente são os principais envolvidos. Os tribunais são órgãos de controle externo, responsáveis pela definição de mecanismos de governança para as empresas estatais, as controladorias são responsáveis pelo controle interno dos órgãos públicos e os ministérios são responsáveis pela fiscalização da aplicação dos mecanismos de governança. As agências são responsáveis por estabelecer regras e regulamentações que visam garantir a transparência, eficiência e responsabilidade das organizações reguladas, estabelecendo princípios e diretrizes de governança, exigindo, implementando e monitorando sua adoção e aplicando sanções pelas não conformidades. Já os conselhos têm papel semelhante ao das agências, porém mais relacionado à fiscalização, supervisão e orientação em relação a aplicação dos mecanismos de governança.

O conceito de governança é comumente relacionado ao de gestão [12, 120]. No entanto, elas se distinguem pelo foco e escopo: a governança estabelece a direção, regras e princípios que norteiam a atuação da organização, definindo o que deve ser feito e o porquê. Ela foca em definir o rumo da organização. Em uma visão mais abrangente, a governança tem um escopo mais amplo e estratégico, envolvendo a tomada de decisão em alto nível e a definição de políticas organizacionais. Já a gestão implementa as estratégias e os planos estabelecidos pela governança, utilizando os recursos disponíveis de forma eficiente para alcançar os objetivos, definindo o como e onde as ações devem ser realizadas. A gestão é responsável pela execução das atividades necessárias para atingir

os objetivos definidos pela governança e tem uma atuação mais tática e operacional, focando na execução das tarefas diárias e no gerenciamento dos recursos. A Figura 2.2 apresenta uma visão de relação entre os conceitos, em que a governança foca no ciclo EDM (Avaliar, Direcionar e Monitorar, do inglês *Evaluate, Direct, Monitor*), e a gestão ocupa-se do ciclo PRC (Planejar, Executar e Controlar, do inglês *Plan, Execute, Control*). Nela é possível perceber que governança direciona a gestão que, por sua vez, presta contas da execução das atividades definidas pela governança. Pode-se afirmar que a gestão é a execução daquilo que foi definido e direcionado pela governança.



Figura 2.2: Relação entre Governança e Gestão. Fonte: [171].

Uma das atividades da governança é o controle sobre o que foi avaliado e direcionado, realizado por meio do monitoramento. Monitorar significa acompanhar continuamente a implementação e o desempenho do que foi definido pela governança, com o objetivo de verificar se a execução ocorre conforme o planejado e se os resultados esperados estão sendo alcançados. Este é um processo essencial para garantir que as ações e decisões estejam alinhadas aos objetivos da organização, auxiliando também na identificação de desvios ou problemas que exijam correção. Neste contexto, surge o termo *Compliance* [47, 123], que é um dos pilares da governança, especialmente na gestão de riscos e integridade, e foca no cumprimento de leis, regulamentos e padrões éticos nas organizações. Na prática, o *compliance* atua por meio da implementação de um conjunto de medidas e procedimentos que visam garantir que a empresa esteja aderente às leis, regulamentos, normas internas e padrões éticos definidos, funcionando como um sistema de gestão que garante a conformidade e a ética nas operações de uma organização.

2.2.1 Taxonomias de Governança

Ao longo do tempo o conceito evoluiu e ganhou significados diferentes, muitas vezes difuso, que pode ser observado sob diferentes pontos de vista, como: (i) gestão das empresas em geral (corporativa); (ii) forma de combate a desvios e corrupção no serviço

público (pública); (iii) ambiental, social e corporativa (ESG); (iv) gestão e controle de recursos de Tecnologia da Informação (TI); (v) garantir que os projetos sejam entregues dentro do prazo (projetos); (vi) garantir a qualidade, segurança e integridade dos dados (dados); (vii) aplicada em empresas familiares (familiar); (viii) garantir a confiança e transparência das organizações do terceiro setor (ONGs e terceiro setor).

- i. *Governança Corporativa*. Define a estrutura e os processos necessários para tomada de decisão dentro das organizações, com objetivo de garantir a transparência, equidade, responsabilidade e conformidade com a lei, além de assegurar a geração de valor [119, 163].
- ii. *Governança Pública*. Determina a forma como o governo e outras entidades públicas gerenciam recursos e tomam decisões, com o objetivo de atender às necessidades da sociedade de forma eficiente e transparente [49, 134].
- iii. *Governança Ambiental, Social e Corporativa (ESG)*. Integra práticas sustentáveis e socialmente responsáveis nas operações de uma organização, com objetivo de minimizar impactos negativos e maximizar benefícios para o meio ambiente, a sociedade e a própria empresa [11, 90].
- iv. *Governança de Tecnologia da Informação (TI)*. Estabelece a gestão e o controle dos recursos de TI, em alinhamento aos objetivos de negócio, gerenciando os riscos associados ao uso da tecnologia, buscando a entrega de valor e a mitigação de riscos [16, 76, 181].
- v. *Governança de Projetos*. Foca na gestão e controle de projetos, estabelecendo estruturas e processos que visam garantir que sejam entregues dentro do escopo, prazo, custo e qualidade esperada [68, 122].
- vi. *Governança de Dados*. Busca garantir a qualidade, segurança e integridade dos dados de uma organização, estabelecendo políticas e procedimentos para o gerenciamento eficaz dos dados [95, 190].
- vii. *Governança Familiar*. Visa estabelecer regras e processos para garantir a sucessão em empresas familiares, a harmonia entre os membros da família e a continuidade do negócio [6].
- viii. *Governança em ONGs e Terceiro Setor*. Estabelece a garantia da confiança e transparência das organizações do terceiro setor, facilitando o acesso a recursos e a sustentabilidade do trabalho realizado [129].

Assim como a governança, o *compliance* segue a mesma lógica de distribuição por áreas, focando no cumprimento de leis, regulamentos e padrões éticos nas organizações. As principais áreas de aplicação do *compliance* são: (i) Trabalhista, cujo objetivo é garantir que a empresa esteja em conformidade com as leis trabalhistas, como registro de funcionários, pagamento de salários e benefícios, e segurança no trabalho [115]; (ii)

Tributária, que assegura que a empresa esteja em dia com suas obrigações fiscais, como pagamento de impostos e entrega de declarações [101]; (iii) Financeira, que visa monitorar as operações financeiras da empresa, evitando fraudes e lavagem de dinheiro, por exemplo [43]; (iv) Ambiental, relacionada à garantia que a empresa esteja em conformidade com as leis ambientais e adote práticas sustentáveis, dentre outras ações [147]; e de (v) Proteção de Dados, que assegura que a empresa esteja em conformidade com as leis e regulamentos de proteção de dados [94].

2.2.2 Princípios e Dimensões

A governança é fundamentada em um conjunto de princípios que representam as diretrizes que orientam o gerenciamento e controle das organizações da área onde é aplicada, visando garantir integridade, eficiência e sustentabilidade, assegurando que a gestão das organizações seja transparente, aprimorando a confiança entre as empresas e suas partes interessadas, os processos de tomada de decisão e gestão de riscos, fortalecendo a reputação e a imagem organizacional, atraindo investimentos, aumentando a eficiência e a competitividade, dentre outros benefícios [130].

São princípios da governança: (i) transparência (*disclosure*), que exige a divulgação clara, precisa e acessível de informações relevantes para estabelecer confiança e permitir a avaliação da conduta da gestão pelas partes interessadas [80]; (ii) equidade (*fairness*), fundamentada no tratamento justo e isonômico dos *stakeholders*, assegurando que direitos e necessidades sejam respeitados sem a concessão de privilégios [58]; (iii) prestação de contas (*accountability*), que obriga os agentes de governança a relatarem suas ações de forma tempestiva e compreensível, assumindo a responsabilidade integral por seus atos e pela gestão de riscos; e (iv) responsabilidade social corporativa (*corporate social responsibility*), que abrange o compromisso da organização com a sustentabilidade e o impacto socioambiental, zelando pela viabilidade econômico-financeira e pela preservação dos capitais intelectual, humano, social e natural [37].

Além desses quatro princípios mais amplamente reconhecidos, outros podem ser considerados importantes como: (v) integridade, que é a aderência a valores e princípios éticos, priorizando o interesse público ou da organização sobre interesses privados, combatendo a corrupção e os desvios; a (vi) eficiência e efetividade, onde a governança deve garantir que os recursos sejam utilizados da melhor forma possível para atingir os objetivos da organização, maximizando resultados e minimizando desperdícios; (vii) participação, que é o incentivo à participação ativa e inclusiva de todas as partes interessadas relevantes nos processos de tomada de decisão, contribuindo para soluções mais representativas e eficazes; (viii) liderança, que representa a necessidade de uma liderança forte, ética e comprometida com os princípios de governança, com objetivo de guiar a organi-

zação quanto aos objetivos da governança; (ix) capacidade de resposta, que é a habilidade da organização de reagir de forma rápida e eficiente às necessidades e expectativas das partes interessadas, adaptando-se às mudanças do ambiente.

Já as dimensões da governança representam os diferentes aspectos que precisam ser bem geridos e monitorados para que uma organização atinja seus objetivos de forma ética, eficiente e sustentável. Elas se interligam e se reforçam mutuamente para construir uma base sólida para a gestão e o direcionamento. As dimensões podem ser abordadas de diferentes perspectivas, e variam de acordo com a área de aplicação. Entretanto, pode-se considerar que algumas dimensões principais se aplicam a todas as áreas [179], são elas: (i) estrutura, que se refere à arquitetura formal da organização, incluindo a divisão de responsabilidades, os conselhos, comitês e as linhas de subordinação; (ii) processos, que representa os métodos e rotinas utilizadas para a tomada de decisão, comunicação, monitoramento e controle da organização; (iii) relacionamentos, que envolvem a interação entre as diversas partes interessadas da organização, como acionistas, diretoria, colaboradores, clientes, fornecedores, comunidade e órgãos reguladores; (iv) cultura, que abrange os valores, crenças e comportamentos que moldam o ambiente da organização.

Em relação às dimensões específicas por área, a governança corporativa, por exemplo, considera outras como propriedade, relacionada à estrutura de capital e concentração de poder dos acionistas, definição clara da missão, visão e objetivos da empresa. Já a pública deve prever mecanismos de prevenção, detecção e controle de corrupção, transparência de acesso à informação, participação social, dentre outras. A ESG, por sua vez, considera questões relacionadas ao impacto das atividades da organização no meio ambiente, que inclui gestão de resíduos, emissões de carbono, uso de recursos naturais, biodiversidade, etc., além de dimensões relacionadas às relações da organização com seus colaboradores, clientes, fornecedores e comunidades, que abrange direitos humanos, condições de trabalho, diversidade e inclusão, saúde e segurança, satisfação do cliente e impacto social.

2.2.3 Governança de Tecnologia da Informação e Alinhamento Estratégico

O Modelo Corporativo para Governança e Gestão de Tecnologia da Informação das Organizações (COBIT, do inglês *Control Objectives for Information and related Technology*) [75] define governança como a estrutura, princípios e políticas, modelos, processos e práticas, informação, habilidades, cultura, ética e comportamento para determinar a orientação e monitorar a conformidade e o desempenho da organização em consonância com o propósito geral e os objetivos definidos pela governança.

Neste modelo, é estabelecido o conceito de Governança Corporativa de Informa-

ções e Tecnologia (EGIT, do inglês *Enterprise Governance of Information and Technology*), que define a forma pela qual o uso atual e futuro de TI é dirigido e controlado na organização. A EGIT é parte integrante da governança corporativa e surgiu devido à importância da TI tanto para a gestão de riscos corporativos quanto para a geração de valor. Fundamentalmente, dentro das organizações, a EGIT visa entregar valor às partes interessadas a partir da transformação digital, mitigar os riscos de negócio resultantes, gerir de forma eficaz e eficiente dos recursos e processos de TI e garantir o alinhamento da TI aos objetivos estratégicos organizacionais. Sua implementação é baseada em seis princípios, que representam seus pilares: (i) Fornecer Valor aos *stakeholders*; (ii) Abordagem Holística; (iii) Sistema Dinâmico de Governança; (iv) Governança Distinta da Gestão; (v) Adaptação às Necessidades da Empresa; (vi) Sistema de Governança Ponta a Ponta.

- i. *Fornecer Valor aos Stakeholders (Provide Stakeholder Value)*. Enfatiza que todo o sistema de EGIT deve ser projetado para gerar valor para as partes interessadas, o que significa equilibrar a realização de benefícios com a otimização dos níveis de risco e o uso de recursos. O valor é a principal motivação para qualquer esforço de EGIT. Isso garante que a governança de TI não seja um fim em si mesma, mas uma ferramenta estratégica para impulsionar os objetivos de negócios, como a criação de novos modelos de negócios, processos mais eficientes e inovação.
- ii. *Abordagem Holística (Holistic Approach)*. Um sistema de EGIT eficaz deve ser abordado de forma holística, considerando todos os componentes inter-relacionados que contribuem para seu funcionamento. Isso inclui processos, estruturas organizacionais, princípios e políticas, cultura e ética, informações, serviços, infraestrutura e aplicações, e pessoas, habilidades e competências. Isso evita que a EGIT seja implementada de forma isolada e garante que todos os aspectos relevantes da organização sejam considerados, promovendo sinergia e consistência, e evitando que falhas em um componente comprometam o sistema como um todo.
- iii. *Sistema Dinâmico de Governança (Dynamic Governance System)*. O EGIT não é estático, ele deve ser dinâmico e capaz de se adaptar às mudanças no ambiente da empresa e da TI. Isso significa que alterações em fatores de *design* internos e externos podem resultar na necessidade de ajustes no sistema EGIT, o que permite que a organização responda de forma ágil às novas oportunidades, ameaças e regulamentações, garantindo que EGIT permaneça relevante e eficaz ao longo do tempo.
- iv. *Governança Distinta da Gestão (Governance Distinct From Management)*. As atividades de governança e as de gestão são claramente distintas. Governança é responsabilidade do conselho e da alta administração, que avaliam, direcionam e monitoram (EDM – Evaluate, Direct, and Monitor). Já a gestão é responsabilidade da administração, que planeja, constrói, executa e monitora (PBRM – Plan, Build,

Run, and Monitor). Isso é importantes porque define responsabilidades claras e evita a duplicação de esforços ou lacunas nas atividades. A distinção garante ainda que a governança estabeleça a direção e os objetivos, enquanto a gestão executa as operações para alcançá-los.

- v. *Adaptação às Necessidades da Empresa (Tailored to Enterprise Needs)*. Cada empresa é única, e seu sistema de EGIT deve ser adaptado às suas próprias necessidades. Fatores de *design*, como estratégia da empresa, perfil de risco, ambiente regulatório, tecnologia usada e tamanho da organização, devem ser considerados ao projetar o sistema de governança, o que garante que o EGIT seja relevante e otimizado para o contexto particular da organização, aumentando a probabilidade de sucesso na sua implementação e operação.
- vi. *Sistema de Governança Ponta a Ponta (End-to-End Governance System)*. A EGIT deve ser implementada como parte integrante da governança corporativa geral, cobrindo todas as áreas de responsabilidade de negócios e funções de TI de ponta a ponta. Isso significa que não deve se limitar à função de TI, mas integrar-se a toda a organização. Isso é importante porque assegura que a TI seja vista como um ativo de negócios fundamental e que as decisões relacionadas à TI estejam alinhadas com as decisões de negócios em todos os níveis da empresa, desde a estratégia até a operação.

Um conceito importante no contexto da EGIT é o Alinhamento Estratégico [181, 195]). Para isso, o COBIT propõe a chamada Cascata de Objetivos (*Goals Cascade*), que é a visão utilizada para traduzir as necessidades e a estratégia organizacionais em objetivos mais específicos e gerenciáveis para a TI, garantindo o alinhamento estratégico entre TI e negócio. Para isso, é necessário identificar os objetivos da empresa e de alinhamento, ilustrando como a TI contribui por meio de soluções e serviços. O foco é na análise de como a TI gera valor para a organização, permitindo a transformação de negócios de forma ágil, tornando os processos mais eficientes, aumentando a eficácia da empresa e atendendo aos requisitos de governança (como gestão de riscos, garantia de segurança e conformidade com requisitos legais e regulatórios). Em resumo, a TI não deve operar isoladamente; pelo contrário, ela deve ser um componente estratégico e integrado, cujas ações e decisões são diretamente derivadas dos objetivos de negócio da organização, visando maximizar a entrega de valor, mitigar riscos e contribuir para o sucesso e a sustentabilidade da empresa.

A próxima seção trata dos fundamentos sobre Governança de Sistemas-de-Sistemas.

2.3 Governança de Sistemas-de-Sistemas (SoSG)

Por se tratar de uma área nova, e o **tema central desta tese**, nesta seção são apresentados os resultados de um mapeamento sistemático conduzido por Morais et al. [121] em 2024. São detalhadas as respostas às questões de pesquisas definidas com parte do protocolo do mapeamento, os conceitos de SoSG, as contribuições, oportunidades e desafios da área. Já o detalhamento do protocolo está descrito no Apêndice A. Por fim são apresentados os trabalhos relacionados a SoSG.

2.3.1 Resultados de um Mapeamento Sistemático da Literatura

Visando aprofundar o entendimento sobre SoSG, foi conduzido um mapeamento sistemático com o objetivo de responder às seguintes Questões de Pesquisa (QP): **QP1**. O que é a governança no contexto de SoS? **QP2**. Como os princípios de governança têm sido usados no contexto de SoS? **QP3**. Como avaliar o uso da governança em SoS, e quais são as métricas usadas na avaliação? Para responder estas questões, 804 estudos foram recuperados de seis bases científicas diferentes, dos quais 40 foram incluídos para análise, contribuindo para levantar o estado da arte relacionado ao assunto estudado, apresentando o conhecimento existente sobre a área e apontando direções de pesquisa.

Após a extração e síntese dos dados e obtenção das respostas a QP1, QP2 e QP3, detalhados no Apêndice A, chegou-se a conclusão que a SoSG é um processo de gerenciamento de sistemas complexos que são compostos por vários CSs, que visa garantir que os sistemas menores sejam integrados de forma eficaz e que o SoS como um todo atinja seus objetivos, considerando diversas questões, como arquitetura, por meio definição de seus constituintes, relacionamentos e interfaces, desenvolvimento e implantação, garantindo que sejam realizados de forma coordenada e eficiente, operação e manutenção, contribuindo para o que um SoS seja operado e mantido de forma segura e eficaz, gerenciamento de riscos, por meio de sua identificação e mitigação e gerenciamento de mudanças de forma controlada e segura.

Entretanto, apesar de ser importante para o sucesso dos SoS, no que diz respeito principalmente ao seu funcionamento coeso e eficaz, e ao alcance de seus objetivos, a SoSG é considerada de difícil implementação. Na prática, envolve uma série de atividades que incluem, dentre outras, a definição de objetivos e requisitos do SoS, desenvolvimento de um plano de integração para os CSs, gerenciamento de riscos associados, monitoramento do desempenho e aprimoramento contínuo. Além disso, é importante que esta implementação seja observada considerando os diferentes eixos da governança [165, 179]: (i) Estratégia; (ii) Estrutura; (iii) Pessoas; (iv) Processos; (v) Tecnologia; (vi) Riscos; (vii) *Compliance*; (viii) Sustentabilidade.

- i. *Estratégia*. Define a direção e os objetivos da organização, alinhando-os com a visão de futuro. A estratégia de um SoS deve estar alinhada com a visão de longo prazo da organização, considerando as necessidades e expectativas dos *stakeholders* envolvidos. A definição de objetivos específicos e mensuráveis para o SoS é fundamental para garantir o sucesso.
- ii. *Estrutura*. Define a organização, as responsabilidades, as relações de autoridade e os processos de tomada de decisão. A estrutura de governança de um SoS deve ser flexível e capaz de lidar com a complexidade inerente a esses sistemas. As relações de autoridade e os processos de tomada de decisão devem considerar as interdependências entre os diferentes sistemas que compõem o SoS.
- iii. *Pessoas*. Envolve a gestão de talentos, o desenvolvimento de competências e a criação de uma cultura organizacional alinhada com os objetivos. A SoSG exige a gestão de equipes multidisciplinares com diferentes conhecimentos e habilidades. A criação de uma cultura colaborativa é fundamental para facilitar a comunicação e a coordenação entre as diferentes partes interessadas.
- iv. *Processos*. Define os processos de negócio, as políticas e os procedimentos para garantir a eficiência e a eficácia das operações. Os processos de negócio de um SoS devem ser integrados e coordenados para garantir a eficiência e a eficácia do sistema como um todo. A gestão de mudanças é um aspecto importante da SoSG, dada a complexidade e a dinâmica desses sistemas.
- v. *Tecnologia*. Abrange o uso da tecnologia para apoiar os processos de negócios e alcançar os objetivos estratégicos. A tecnologia desempenha um papel fundamental na integração dos diferentes sistemas que compõem o SoS. A SoSG deve estimular a inovação contínua para garantir a competitividade do sistema.
- vi. *Riscos*. envolve a identificação, avaliação e gestão dos riscos que podem afetar a organização. Os riscos associados a SoS são frequentemente complexos e interconectados, exigindo uma abordagem proativa e sistemática para sua gestão. A SoSG deve garantir a resiliência do sistema, ou seja, sua capacidade de se recuperar de falhas e distúrbios.
- vii. *Compliance*. Garante o cumprimento das leis, regulamentos e normas aplicáveis. Os SoS devem cumprir as leis e regulamentações aplicáveis, especialmente em setores altamente regulamentados. A gestão de contratos com os diferentes fornecedores e parceiros é crucial para garantir a conformidade e o cumprimento das obrigações contratuais.
- viii. *Sustentabilidade*. Considera os aspectos ambientais, sociais e econômicos das decisões e ações da organização. A SoSG deve considerar os impactos ambientais do sistema e buscar soluções sustentáveis, a inclusão social e o bem-estar das comunidades afetadas pelo sistema.

De forma geral, a SoSG pode ser vista com uma ferramenta que pode ajudar as organizações a obterem sucesso em contextos de sistemas cada vez mais complexos, por meio da implementação de uma estrutura de governança eficaz, em que as organizações teoricamente poderiam garantir que seus SoS estejam alinhados com seus objetivos estratégicos organizacionais e atinjam suas metas de negócios. Também é factível supor outras vantagens da utilização da governança, como: (i) Integridade: a estrutura de governança que deve garantir que os sistemas menores sejam integrados de forma eficaz e que o SoS como um todo atinja seus objetivos; (ii) Transparência: a governança deve ser transparente para todas as partes interessadas; (iii) Responsabilidade: a estrutura de governança definir as responsabilidades de cada parte interessada; (iv) Flexibilidade: definição de uma estrutura de governança flexível o suficiente para se adaptar às mudanças nas condições.

2.3.2 Conceitos de SoSG

A partir da aplicação do protocolo do mapeamento, e das respostas às questões de pesquisa, foi possível observar e inferir uma série de conceitos que podem ser utilizados para definição de SoSG. Esta definição deve estar alinhada a diversas questões, como garantia de que os SoS estejam em conformidade com o que foi definido pela governança, ou seja, é importante que os SoS funcionem de acordo com as regras definidas pela governança, com objetivo de garantir que os CSs funcionem de forma harmoniosa e eficaz em conjunto, por meio da definição de estruturas organizacionais, processos de tomada de decisão, políticas, normas e diretrizes que promovam a cooperação, a coordenação e a interoperabilidade entre eles.

Em um dos primeiros estudos relacionados ao assunto, em 2008, Sloane et al. [166] não trazem uma definição clara para SoSG, uma vez que a área era ainda embrionária; porém, os autores já apresentam uma referência ao que poderia vir a ser considerado o significado do termo, cujo papel é recomendar de forma ampla o estabelecimento e a gestão de algum tipo de grupo especializado de sistemas, outros serviços e recursos, que visam garantir que os consumidores de serviços, provedores e elementos de infraestrutura funcionem de maneira confiável e em sincronia.

Darabi et al. [42] apresentam em 2012 aquela que poderia ser considerada uma primeira definição de SoSG. SoSG se refere à estrutura e aos processos que orientam a tomada de decisões, a coordenação e o gerenciamento de um sistema complexo (neste caso um SoS) composto por diversos sistemas independentes. Envolve definição de (i) Objetivos e estratégias, por meio de metas claras para o SoS e como serão alcançadas; (ii) Estrutura de governança, pela criação de uma estrutura organizacional que facilite a colaboração e a tomada de decisões entre as partes interessadas; (iii) Processos de decisão,

estabelecendo processos formalizados para tomar decisões estratégicas e operacionais relacionadas ao SoS; (iv) Alocação de recursos, pelo gerenciamento de recursos financeiros, humanos e tecnológicos para o SoS; (v) Gerenciamento de riscos, por meio da identificação e mitigação dos riscos associados ao SoS, como falhas, atrasos e violações de segurança; (vi) Conformidade com normas e regulamentos, assegurando que o SoS esteja em conformidade com as leis e regulamentos aplicáveis.

Buijs et al. [29], introduzem em 2015 o termo Governança em Engenharia de SoS como sendo a aplicação de uma estrutura de princípios, práticas e processos para orientar e controlar o desenvolvimento e a operação de sistemas complexos e interconectados, com objetivo de garantir a coordenação eficaz, integração e sustentabilidade dos sistemas envolvidos, assegurando que os objetivos estratégicos organizacionais sejam atingidos de maneira eficiente e adaptativa às mudanças e inovações tecnológicas.

Katina et al. [82], em 2019, apresentam aquela que poderia ser considerada uma complementação para o conceito de SoSG, como uma estrutura focada no direcionamento, supervisão e definição das responsabilidades necessárias para garantir a coordenação e integração eficazes entre CSs de sistemas complexos, que visa melhorar seu desempenho por meio do *design*, execução e evolução intencionais das funções essenciais do metassistema. A governança aborda os desafios impostos pela natureza ambígua, emergente e incerta dos sistemas modernos, proporcionando uma abordagem estruturada para gerenciar essas complexidades de forma eficaz.

No estudo mais recente sobre o assunto, de 2023, Chebbi et al. [34] propõem que a SoSG seja baseada em quatro pilares: (i) Coordenação e integração, visando garantir que os sistemas individuais colaborem eficientemente, mesmo que mantenham sua autonomia operacional; (ii) Estrutura organizacional, que define papéis e responsabilidades claras para os diferentes sistemas e suas interações; (iii) Mecanismos de controle, que implementam processos e ferramentas que monitoram, avaliam e ajustam o desempenho dos sistemas individuais e do SoS como um todo; (iv) Flexibilidade e adaptabilidade, para permitir que o SoS se adapte a mudanças no ambiente ou nos objetivos sem comprometer sua integridade ou funcionalidade.

Apesar da definição para SoSG já estar consolidada, não há uma definição única e estrita (mais precisa) para o termo, que o mapeamento aqui apresentado define como:

Um processo de gerenciamento de sistemas complexos compostos por vários CSs, visando garantir que os sistemas sejam integrados de forma eficaz e que o SoS como um todo atinja seus objetivos.

Este gerenciamento deve levar em consideração as seguintes características do SoS: (i) Arquitetura, gerenciando constituintes e seus relacionamentos; (ii) Desenvolvimento e Implantação, garantindo que sejam realizados de forma coordenada e eficiente,

(iii) Operação e Manutenção, contribuindo para que o SoS seja operado e mantido de forma segura e eficaz; (iv) Gerenciamento de Riscos, atuando na sua identificação e mitigação; (v) Gerenciamento de Mudanças, agindo de forma que as mudanças sejam implementadas de forma controlada e segura.

Além de considerar as características do SoS, a SoSG deve garantir que sejam implementados os diferentes elementos da governança, como estratégia, estrutura, pessoas, processos, tecnologia, riscos, *compliance* e sustentabilidade. De forma geral, pode-se concluir que a SoSG pode ser vista como uma ferramenta que tende a ajudar as organizações a obter sucesso em contextos de sistemas cada vez mais complexos, por meio da implementação de uma estrutura de governança eficaz, em que as organizações teoricamente podem assegurar que seus SoS estejam alinhados com os objetivos estratégicos organizacionais e atinjam suas metas de negócios.

Também não foram encontradas na literatura propostas de aplicação práticas da SoSG, por isso pode-se supor que existam várias formas de propor sua operacionalização. Uma delas seria por meio de propostas de frameworks, conforme exemplificado nos trabalhos de Rudolph et al. [152], Lee et al. [102], Payne et al. [138] e Vaneman e Jaskot [182], ou por meio de modelos prescritivos, embora a escassez de artefatos desta natureza constitua uma das principais lacunas identificadas no mapeamento sistemático. Tais abordagens devem conter a definição de um conjunto de regras, processos e estruturas que determinam como um grupo complexo de sistemas interconectados será gerenciado e controlado. Entretanto, não existe um modelo único e definitivo de governança, pois a escolha da abordagem mais adequada a um determinado contexto depende de diversos fatores, como: (i) Natureza do SoS, envolvendo o grau de complexidade, a interdependência entre os constituintes e o nível de autonomia de cada sistema; (ii) Contexto organizacional, incluindo a cultura organizacional, a estrutura e os objetivos estratégicos; e (iii) Ambiente Externo, englobando regulamentações, mercado e fatores socioeconômicos.

Por fim, alguns estudos propõem aquilo que poderia ser considerada uma primeira taxonomia para modelos de SoSG: (i) Governança Federada: neste modelo, cada sistema mantém um alto grau de autonomia, mas existe um órgão central responsável por coordenar as atividades e garantir a consistência do SoS [81]. (ii) Governança Hierárquica: um sistema centralizado controla os outros sistemas, tomando as decisões estratégicas e operacionais [92]. (iii) Governança em Rede: a governança é distribuída entre os diferentes sistemas, com cada um tendo um papel específico na tomada de decisões [89]. (iv) Governança Adaptativa: o modelo de governança evolui ao longo do tempo em resposta às mudanças no ambiente e nas necessidades do SoS [148]. (v) Governança Baseada em Serviços: A governança se concentra na gestão de serviços e interfaces entre os diferentes sistemas [124]. Porém é possível observar que essa nomenclatura está muito mais associada ao tipo de SoS (Subseção 2.1.1) que está sendo considerado, em detrimento do

papel da governança em si.

2.3.3 Contribuições do Mapeamento

As principais contribuições do mapeamento aqui apresentado são divididas entre teóricas e práticas. As teóricas são baseadas na análise dos dados coletados e podem incluir hipóteses, modelos, conceitos ou proposições. As práticas são as implicações dos resultados do estudo para a prática e podem incluir recomendações para políticas, práticas ou intervenções. São elas: (i) Identificação de lacunas na literatura; (ii) Síntese de resultados de pesquisas; (iii) Desenvolvimento de novas teorias ou modelos; (iv) Recomendações para políticas ou práticas. A seguir, são dados mais detalhes sobre cada uma delas.

- i. *Identificação de lacunas na literatura.* Com objetivo de identificar lacunas na literatura, indicando áreas que precisam de mais pesquisas, ficou evidente que

não havia, à época da condução do estudo e publicação, métodos de avaliação do uso da SoSG, tampouco métricas que podem ser usadas para tal.

Trata-se então de umas das principais lacunas na literatura, que pode ser mais bem explorado em futuros estudos. Essa evidência foi obtida com base, principalmente, nas análises das respostas à QP2 e QP3, onde foi identificado que apenas 14 (35%) estudos evidenciam o uso prático da governança em SoS, porém nenhum faz essa avaliação.

- ii. *Síntese de resultados de pesquisas.* Com objetivo de sintetizar os resultados de pesquisas anteriores, fornecendo uma visão geral do estado da arte, foi possível observar que

a definição para o termo SoSG já está consolidada, sendo referenciada em diversos estudos, porém não há uma definição única e estrita.

Além disso, a importância da aplicação da governança em SoS, bem como seus benefícios, também estão descritos. Entretanto é importante salientar que estes benefícios estão listados sob o ponto de vista conceitual. Há uma suposição geral, em vários estudos, que há benefícios relacionados à aplicação dos princípios de governança aos SoS, além da proposta de vários frameworks que supostamente poderiam ser aplicados e trariam esses benefícios, porém não há comprovação que isso ocorra de forma efetiva.

- iii. *Desenvolvimento de novas teorias ou modelos.* Com objetivo de fornecer evidências para o desenvolvimento de novas teorias ou modelos foi possível observar que é importante que

seja proposto um framework de SoSG que possa ser verificado, preferencialmente em uma situação de uso real.

Isso pode ser feito por meio de uma proposta de um modelo conceitual e instanciação de um estudo de caso, por exemplo. Este modelo conceitual pode ser proposto em diversos formatos, como um metamodelo, por exemplo. Mas o importante é que o mesmo possa ser avaliado considerando os objetivos definidos pela governança.

- iv. *Recomendações para políticas ou práticas.* Com objetivo de fornecer recomendações para políticas ou práticas com base nos resultados da pesquisa, foi observado que foram propostos diversos frameworks de SoSG, para diferentes áreas, como segurança, trânsito e saúde, por exemplo. Apesar de serem áreas distintas, a maioria dos frameworks propostos tinham o mesmo objetivo, de garantia dos requisitos de governança. Fica evidente então que um modelo genérico poderia ser proposto e teria um suposto potencial de utilização em diferentes áreas.

2.3.4 Oportunidades e Desafios

Cumprindo o que se espera de um mapeamento, foi possível identificar oportunidades de pesquisa como resultado da síntese dos dados que responderam às questões de pesquisa elaboradas. Dentre as oportunidades identificadas, pode-se mencionar: (i) Sistematização do conhecimento; (ii) Elevação no nível de abstração e modelo unificado de SoSG; (iii) Maturidade das evidências empíricas na área; (iv) Proposição de um modelo de avaliação da governança ou um modelo de maturidade de SoSG; (v) Investigação via a pesquisa de opinião com profissionais da indústria; (vi) Proposta de um modelo conceitual de SoSG e instanciação por meio de um estudo de caso. Estas oportunidades são detalhadas as seguir.

- i. *Sistematização do conhecimento.* Uma contribuição importante para qualquer ciência diz respeito à sistematização do conhecimento daquela área em artefatos, tais como taxonomias, modelos conceituais, modelos de referência. Percebeu-se que, ainda que haja relativa abundância de trabalhos sobre o assunto, a área ainda carece de artefatos que materializem o conhecimento acumulado ao longo dos anos.
- ii. *Elevação no nível de abstração e modelo unificado de SoSG.* Muitos modelos propostos nos estudos incluídos tratam de modelos e frameworks específicos de domínio. Um desafio ainda existente é a unificação dos conceitos de domínios específi-

cos (como incêndio, domínio marítimo, segurança), explorando as similaridades e variabilidades para criar um modelo unificado.

- iii. *Maturidade das evidências empíricas na área.* Percebeu-se que uma porção significativa dos estudos reportam proposições de modelos sem avaliação ou com avaliação do tipo Prova de Conceito (Poc) ou *Toy Example*¹. Alguns estudos chamam sua avaliação de estudo de caso; entretanto, segundo o que se entende na literatura como estudo de caso, percebe-se uma lacuna de rigor científico no que é reportado. Wohlin et al. [198, 199] discutem os critérios utilizados para se definir um estudo de caso e fornece orientação sobre como escrever um bom estudo de caso, de forma que os autores considerem os seguinte aspectos: identifiquem um problema ou pergunta de pesquisa clara e específica; colem evidências de uma variedade de fontes; analisem as evidências de forma crítica e objetiva; apresentem os resultados da pesquisa de forma clara e concisa; discutam as implicações dos resultados para a teoria e a prática.
- iv. *Proposição de um modelo de avaliação da governança ou um modelo de maturidade de SoSG.* Com objetivo de fornecer uma estrutura para melhorar os processos de uma organização, propor um modelo de maturidade de processos que identifica áreas de melhoria em uma organização e fornece orientação sobre como melhorar esses processos, assim como os instrumentos de avaliação da norma ISO 15504 [1], dos modelos CMMI [159] ou MPS.BR [167].
- v. *Investigação via pesquisa de opinião com profissionais da indústria.* Onde haja SoS que permitam a investigação para entender as barreiras que existem atualmente na aplicação dos princípios de governança nestas empresas.
- vi. *Proposta de um modelo de SoSG e instanciação por meio de um estudo de caso.* **Tema central desta tese (detalhado nos Capítulos 4 e 5)**, o modelo pode ser proposto tanto no formato de Modelo Conceitual, quando de Metamodelo, que é um instrumento que pode ser utilizado para fornecer uma visão geral de um domínio de conhecimento ou de um campo de pesquisa, podendo ser usados para facilitar a comunicação entre pesquisadores, para comparar diferentes modelos e para identificar lacunas na pesquisa. Os metamodelos podem ajudar pesquisadores a comunicar suas ideias de forma clara e concisa, para comparar diferentes modelos e identificar semelhanças e diferenças para identificar lacunas na pesquisa e ajudar pesquisadores a colaborar em pesquisas conjuntas.

¹Uma PoC é uma demonstração prática destinada a verificar se um conceito teórico, método ou arquitetura é viável. Um *Toy Example* é uma versão extremamente simplificada e deliberadamente limitada de um problema, usada apenas para ilustrar como um conceito funciona. Ele não pretende ser realista nem resolver um problema de larga escala.

2.3.5 Trabalhos Relacionados

Foram encontrados apenas estudos primários relacionados a SoSG. Assim, o trabalho que é base deste capítulo talvez seja o primeiro estudo secundário relacionado ao assunto. Dentre os trabalhos relacionados, a nota técnica “*System-of-systems governance: New patterns of thought*” é um documento publicado pelo *Software Engineering Institute* (SEI) em 2007, que define os conceitos básicos de SoS e SoSG, sendo dividido em duas seções principais. A seção de abordagens tradicionais de SoSG discute as principais abordagens que têm sido usadas para governar SoS. Essas abordagens são baseadas em uma visão de SoS como uma coleção de sistemas separados. Por fim, propõe um modelo de SoSG que é baseado em uma visão de SoS como um sistema único, baseado nos princípios de integridade, transparência, responsabilidade e flexibilidade.

O livro *Critical Infrastructures, Key Resources, Key Assets Risk, Vulnerability, Resilience, Fragility, and Perception Governance* [33] trata da governança de infraestruturas críticas, recursos-chave e ativos-chave de organizações e discute os riscos, vulnerabilidades, resiliência, fragilidades e percepções de infraestruturas críticas, e propõe um modelo de governança para mitigar esses riscos. O capítulo *System-of-Systems Governance* explica os conceitos de governança, avaliação de risco e vulnerabilidade no contexto de um SoS, que é utilizado para modelar o mundo real, por meio de dados disponíveis de forma pública no *World Factbook da Central Intelligence Agency* (CIA) dos EUA. O modelo proposto sugere a possibilidade de medir, e até prever, a vulnerabilidade das nações com base em um número de indicadores.

Imamura et al. [73], discutem a importância da SoSG para o sucesso de projetos em organizações públicas brasileiras, com objetivo de garantir que os objetivos e interesses dos *stakeholders* de um SoS sejam alinhados, e que o mesmo seja gerenciado de forma eficaz. O artigo apresenta ainda os resultados de uma pesquisa de opinião realizada com profissionais de uma instituição pública brasileira que implementou um SoS, e identificou os seguintes fatores como críticos para o sucesso da implementação de SoSG: (i) Comunicação e colaboração entre os *stakeholders*: é fundamental que os *stakeholders* relacionados ao SoS se comuniquem e colaborem de forma eficaz para garantir o alinhamento de objetivos e interesses; (ii) Estrutura organizacional: a estrutura organizacional deve ser adequada para o gerenciamento de um SoS; (iii) Políticas e procedimentos: sua definição clara e concisa é essencial para garantir a SoSG; (iv) Recursos: pessoal, tecnologia e orçamento são necessários para a implementação da SoSG. Por fim, o artigo conclui que os fatores identificados são relevantes para a SoSG em outros contextos diferentes das instituições públicas, e que a estrutura organizacional, as políticas e procedimentos são fatores importantes para a SoSG. Por fim, destaca a importância de considerar os fatores de governança em todas as fases do desenvolvimento de um SoS.

2.4 Considerações Finais

Este capítulo apresentou os conceitos necessários para compreensão dos conceitos apresentados nesta tese. Inicialmente foram apresentados os fundamentos da área de Governança, abordando sua evolução histórica, as principais taxonomias, princípios e dimensões. Em seguida, os conceitos fundamentais de SoS foram detalhados, por meio de seus conceitos, características principais, taxonomias e classes específicas. Em seguida, o capítulo apresentou o conceito de SoSG, obtido a partir da condução de um mapeamento sistemático, cujo objetivo foi levantar o estado da arte referente a Governança no contexto dos SoS. 804 estudos foram recuperados de seis bases científicas diferentes (detalhadas no Apêndice A) sendo que, destes, 40 foram incluídos para análise, contribuindo para levantar o referencial teórico relacionado ao assunto estudado, apresentando o conhecimento existente sobre a área e apontando direções de pesquisa. Por não terem sido encontrados outros estudos secundários semelhantes, acredita-se que este seja o primeiro trabalho desta natureza.

As principais contribuições deste capítulo, no tocante ao conceito de SoSG, foram apresentadas sob o ponto de vista teórico, baseadas na análise dos dados coletados, ou prático, pelas implicações dos resultados observados como resultado do mapeamento sistemático. Basicamente, foram identificadas lacunas na literatura, indicando áreas que precisam de mais pesquisas, sínteses de resultados de pesquisas, com objetivo de sintetizar os resultados de pesquisas anteriores, fornecendo uma visão geral do estado da arte, desenvolvimento de novas teorias ou modelos, visando fornecer evidências para o desenvolvimento de novas teorias ou modelos, recomendações para políticas ou práticas, com base nos resultados da pesquisa. Além disso, o resultados deste mapeamento indicam que: (i) Governança em SoS é um conceito já definido na literatura, e ajuda a garantir que os CSs sejam integrados de forma eficaz, e que o SoS como um todo atinja seus objetivos; (ii) Apenas 14 dos 40 (35%) estudos incluídos mostram a aplicação de Governança em SoS na prática, o que mostra uma dificuldade de institucionalização de princípios de governança em cenários de SoS, o que pode ser material de investigação; (iii) Nenhum dos estudos incluídos mostra como avaliar o uso da governança em SoS. Oportunidades de pesquisa foram identificadas para guiar a comunidade de SoS na investigação do assunto nos próximos anos.

Trabalhos futuros incluem: (i) Elaboração de um modelo conceitual que sintetiza os conceitos eliciados aqui; (ii) Proposta de um Modelo Conceitual de SoSG sua instanciação em cenário real como forma de avaliação preliminar; (iii) Condução de estudos suplementares como estudos de caso e pesquisas de opinião. Quanto à continuação da revisão da literatura, a aplicação de *snowballing* pode auxiliar na expansão dos estudos incluídos. O próximo capítulo apresenta os procedimentos metodológicos adotados.

Procedimentos Metodológicos

Este capítulo detalha a metodologia de pesquisa que sustenta o desenvolvimento desta tese, descrevendo suas atividades e os procedimentos técnicos empregados. O capítulo apresenta e compara três metodologias amplamente reconhecidas: Pesquisa-Ação (AR), *Grounded Theory* (GT) e *Design Science Research* (DSR), visando justificar a escolha da metodologia mais adequada para o objetivo da tese. Adicionalmente, a metodologia utilizada é discutida, e o trabalho é posicionado quanto ao método científico utilizado, e classificado quanto a abordagem, métodos de pesquisa e estilo de pesquisa em computação. Em seguida são apresentadas as contribuições esperadas para o trabalho. Por fim são apresentadas as considerações finais.

3.1 Metodologias de Pesquisa Relacionadas

Para o alcance dos objetivos definidos nesta tese, foram consideradas 3 metodologias: (i) Pesquisa-Ação (AR, do inglês *Action Research*); Teoria Fundamentada (GT, do inglês *Grounded Theory*); Pesquisa em Ciência do Design (DSR, do inglês *Design Science Research*). Os dois últimos termos, entretanto, serão utilizados em inglês, uma vez comumente são assim referidos na literatura, e não existe uma tradução oficial ou um consenso sobre as suas nomenclaturas em português.

- i. *Pesquisa-Ação*. Envolve um processo cíclico que visa melhorar a prática ou resolver problemas do mundo real através de uma abordagem sistemática de coleta e interpretação de dados. Ela é centrada na descoberta por meio da ação, exigindo a participação ativa de profissionais e partes interessadas no sistema onde o problema reside. O objetivo final é gerar conhecimento compartilhado e reduzir a lacuna entre teoria e prática [21].
- ii. *Grounded Theory*. É uma metodologia qualitativa utilizada para desenvolver teorias ou *frameworks* conceituais baseados em dados empíricos. Caracteriza-se por um processo indutivo de comparação constante, em que a teoria emerge dos dados coletados, geralmente através de entrevistas e discussões em grupos focais [177].

- iii. *Design Science Research*. É um paradigma de resolução de problemas que busca expandir o conhecimento humano e organizacional através da criação de artefatos inovadores (modelos, métodos, construtos e instanciações). Diferente da AR, que foca na descoberta pela ação, a DSR foca na descoberta pelo *design*, visando criar soluções para problemas reais e melhorar o ambiente onde o artefato é instanciado. A compreensão de um problema e sua solução são alcançadas através da construção e aplicação do artefato desenhado [44, 187].

Embora as três metodologias sejam cíclicas e possam ser complementares, esta tese restringe-se à adoção da DSR. A escolha justifica-se pelo fato de que o objetivo central desta pesquisa é a criação de um Modelo Conceitual, que é um artefato de *design* clássico da DSR. A DSR é indicada para contribuições tanto práticas (soluções acionáveis), quanto científicas (teorias de *design* ou conhecimento prescritivo, também chamado de conhecimento- λ) [187]. Diferente da GT, que requer dados massivos para construir uma teoria do zero, ou da AR, que depende de uma intervenção prática direta e prolongada em uma organização, a DSR permite o desenvolvimento rigoroso de modelos formais que preenchem lacunas de conhecimento (como a falta de rigor semântico na SoSG) e sua posterior avaliação por especialistas [184].

3.1.1 Elementos da DSRM no Contexto deste Trabalho

Para operacionalizar a DSR, esta tese adota a *Design Science Research Methodology* (DSRM), descrita em Peffers et al. [139]. O processo é tipicamente conduzido em iterações e está estruturado em seis atividades principais, que formam os ciclos de relevância (problemas do mundo real), rigor (base de conhecimento acadêmico) e *design* (ciclo interno de construção e avaliação) [187]. As atividades no contexto deste trabalho, visualizadas na Figura 3.1, são descritas a seguir: (1) Identificar o Problema e Motivação (Seção 2.3); (2) Definir Objetivos de uma Solução (Capítulos 4 e 5, Seção 1.5); (3) *Design* e Desenvolvimento (Seção 4.2); (4) Avaliação (Seção 4.3); (5) Demonstração (Seção 5.3); (6) Comunicação (Seção 1.7).

1. *Identificar o Problema e Motivação*. Esta etapa consiste em definir o problema de pesquisa e justificar o valor da solução. No contexto desta tese, o problema identificado é a carência de representações conceituais e modelos precisos no campo de SoSG, que atualmente é dominado por frameworks *descritivos* de alto nível que carecem de rigor semântico. A motivação reside na necessidade de gerenciar a complexidade e interconexão tecnológica em cenários de colaboração multiorganizacional.
2. *Definir Objetivos de uma Solução*. Os objetivos são inferidos a partir da definição do problema. O objetivo central é propor um Modelo Conceitual de SoSG, que unifique

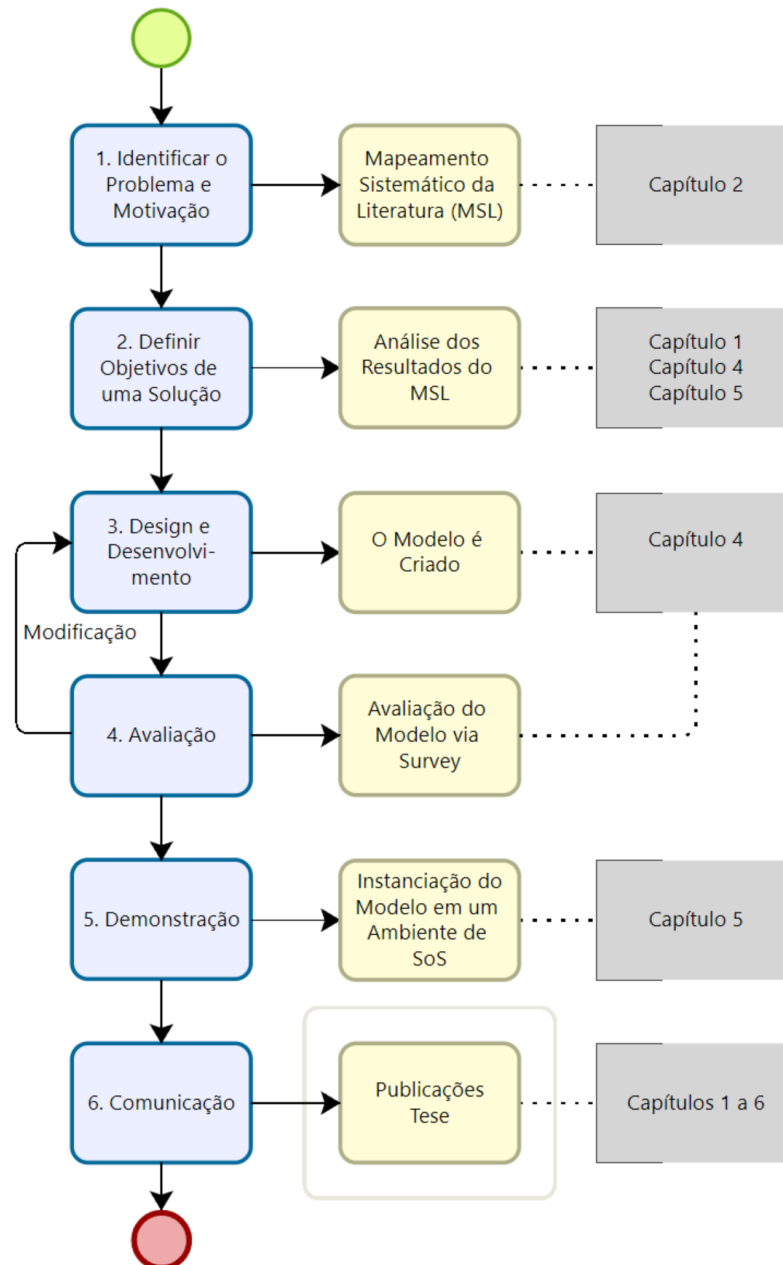


Figura 3.1: Atividades definidas pela DSRM.

conceitos de governança e propriedades intrínsecas de SoS, como as independências operacional e gerencial.

3. *Design e Desenvolvimento.* Nesta fase, o artefato é criado. O modelo foi desenvolvido em etapas: primeiro a construção de um modelo de SoS, seguido de um modelo de governança e, por fim, a unificação de ambos em um modelo integrado de SoSG, utilizando a notação UML para garantir precisão estrutural.
4. *Avaliação.* A avaliação mede o quão bem o artefato suporta a solução do problema, comparando os objetivos iniciais com os resultados observados. O modelo foi submetido a uma pesquisa de opinião com especialistas das áreas de Governança e SoS, utilizando métricas de abrangência, completitude, precisão sintática e semân-

tica. Os *feedbacks* serviram para o refinamento iterativo do modelo, resultando em uma versão aprimorada.

5. *Demonstração.* A demonstração envolve o uso do artefato para resolver instâncias do problema. Aqui, o modelo conceitual é instanciado no ambiente de um Tribunal de Justiça estadual brasileiro, caracterizado previamente como um SoS, visando demonstrar a viabilidade da aplicação dos conceitos de governança em um cenário real.
6. *Comunicação.* A última etapa envolve a difusão do conhecimento gerado para audiências técnicas e acadêmicas. Os resultados desta pesquisa são comunicados através da própria tese de doutorado e de publicações científicas em conferências e periódicos da área, contribuindo para a base de conhecimento da área.

A etapas descritas na Figura 3.1 foram utilizadas para criação dos artefatos apresentados nos Capítulos 4 e 5. O primeiro apresenta um artefato que representa uma proposta de um Modelo Conceitual de SoSG, que foi avaliado por especialistas na área e aprimorado. O segundo apresenta a caracterização de um conjunto de sistemas de informação existentes em um Tribunal de Justiça brasileiro como um SoS, identificando especificamente seus constituintes principais e suas interdependências. Esta representação também foi avaliada por especialistas, e posteriormente classificada como um SoS. Por fim, foi criado um artefato que representa a instanciação no modelo conceitual proposto no ambiente de SoS caracterizado.

3.2 Discussão sobre a Metodologia Utilizada

Visando o alcance dos objetivos desta tese, algumas questões relacionadas à metodologia de pesquisa utilizada são discutidas nesta seção. Questões estas relacionadas ao método científico, abordagem, método de pesquisa e estilos de pesquisa utilizados.

3.2.1 Método Científico

A primeira questão a ser discutida diz respeito ao método científico mais adequado para defender a hipótese desta tese (Seção 1.3). Método científico é um conjunto de regras básicas utilizadas para conduzir uma experiência com o objetivo de produzir novo conhecimento, bem como para corrigir e integrar conhecimentos preexistentes. Na maioria das disciplinas, ele consiste em reunir evidências observáveis, empíricas e mensuráveis, analisando-as sistematicamente por meio da lógica [193]. A concepção clássica de método fundamenta-se em uma sequência que inclui observação, formulação de hipóteses, experimentação, medição e o estabelecimento de leis e teorias. Contudo, a epistemologia contemporânea argumenta que não existe um método universal único e que a

investigação científica pode assumir uma variedade de formas, sendo um processo construtivo e inventivo em vez de uma simples descoberta neutra da realidade [135].

Epistemologia, por outro lado, é o conjunto de conhecimentos voltados a determinar a natureza, as características gerais e o alcance do conhecimento humano, refletindo especialmente sobre a relação entre o sujeito (pesquisador) e o objeto de estudo. Ela é frequentemente descrita como uma “Teoria do Conhecimento” ou uma disciplina de “menor importância” que se dedica a pensar sobre como se faz ciência, buscando entender como o conhecimento é obtido e validado [55, 135]. A epistemologia é determinante para a estruturação dos métodos científicos, pois ela funciona como a base filosófica que determina como o conhecimento é obtido, validado e interpretado. Enquanto o método científico é o conjunto de regras práticas para a investigação, a epistemologia é a disciplina que reflete sobre como se faz essa ciência, questionando seus fundamentos e alcances. A epistemologia fornece a visão de mundo que sustenta o Plano ou Estratégia de Pesquisa (*Research Design*). Ela não influencia apenas a escolha de uma técnica, mas a metodologia como um todo, que é a discussão epistemológica sobre o “caminho do pensamento” exigido pelo objeto de estudo. Sem essa base, o pesquisador corre o risco de aplicar métodos de forma mecânica (como um “artesão”), sem a independência de preconceitos que a inspiração filosófica proporciona [177, 135, 193].

No contexto epistemológico das correntes filosóficas que influenciaram aquilo o que hoje é conhecido como ciência, Wazlawick [193] descreve os principais métodos que orientam a produção do conhecimento científico: (i) Empirismo; (ii) Positivismo; (iii) Pragmatismo; (iv) Objetividade; (v) Indução; (vi) Refutação. Todas as definições sobre os métodos descritos a seguir podem ser obtidas em [52, 55, 135, 193].

- i. *Empirismo*. É a corrente que defende que o conhecimento científico reside nos fatos e na experiência, derivando da verificação metódica da realidade. O empirismo sustenta que os sentidos humanos são a fonte primordial do saber, exigindo que o pesquisador se despoje de pré-concepções para observar a natureza de forma direta e isenta.
- ii. *Positivismo*. Esta linha de pensamento exerceu forte influência no modelo de racionalidade das ciências naturais e sociais, defendendo a objetividade absoluta. O positivismo considera que a realidade só pode ser compreendida através da análise de dados brutos e instrumentos padronizados, frequentemente utilizando a linguagem matemática para descrever relações causais entre variáveis.
- iii. *Pragmatismo*. É associado à busca por soluções práticas e eficazes para problemas reais, muitas vezes resumida na ideia de que “se funciona, está certo”. No âmbito da pesquisa, traduz-se em uma perspectiva que visa apresentar uma visão global e coerente do objeto de estudo a partir da utilidade prática dos resultados.

- iv. *Objetividade*. É o critério que exige a separação entre o sujeito (pesquisador) e o objeto pesquisado, garantindo que as conclusões não sejam contaminadas por valores pessoais ou crenças. A condição de objetividade é atingida quando observadores independentes, com competência mínima, concordam com os mesmos resultados a partir de medições repetíveis.
- v. *Indução*. É o método lógico que parte de dados ou fatos particulares para ascender a leis ou conceitos gerais. Já foi considerado o “verdadeiro caminho” para a descoberta científica, embora epistemólogos contemporâneos como Karl Popper¹ critiquem o “salto indutivo”, argumentando que nenhuma quantidade de observações particulares justifica logicamente uma conclusão universal definitiva.
- vi. *Refutação (ou Falseabilidade)*. Proposto por Karl Popper como critério de demarcação da ciência, estabelece que uma teoria só é científica se puder ser submetida a testes que tentem provar sua falsidade. Diferente do método dedutivo clássico, que busca confirmar uma hipótese, este método foca na busca por evidências que possam derrubar a teoria; se ela resiste, é considerada corroborada temporariamente.

Os métodos científicos citados não são intrinsecamente autoexcludentes, apresentando, em muitos casos, fronteiras difusas e motivações compartilhadas que permitem sua integração [70]. Diferentes abordagens, como o método dedutivo, indutivo e dialético, embora possuam finalidades distintas, compartilham fundamentos filosóficos comuns, como o empirismo e o racionalismo [175]. Historicamente, movimentos como o positivismo lógico representaram tentativas explícitas de combinar tradições anteriormente vistas como conflitantes, unindo a dedução racionalista à verificação empírica, por exemplo [72]. Na prática contemporânea, a complexidade dos problemas científicos requer uma postura pluralista em algumas situações, favorecendo o uso de abordagens mistas ou multimétodos (Seção 3.2.2) que integram análises qualitativas e quantitativas para proporcionar uma compreensão mais profunda do objeto de estudo. Contudo, ressalta-se que o pesquisador deve manter a clareza sobre qual corrente pauta sua escrita para garantir a viabilidade e a credibilidade acadêmica do trabalho [60].

A aplicação de cada método pode ser influenciada tanto pela área de conhecimento, quanto pela natureza do problema investigado, apresentando variações entre as ciências exatas, biológicas e humanas [72, 175]. Apesar de fazer uso de métodos típicos das ciências biológicas, como experimentos controlados e estudos de caso, nas ciências exatas, o método dedutivo e a lógica formal são predominantes, utilizando raciocínios estruturados para alcançar conclusões específicas a partir de premissas gerais e conceitos

¹Karl Popper (1902-1994) foi um influente filósofo austro-britânico, um dos maiores pensadores do século XX, conhecido por sua filosofia da ciência, que introduziu o conceito de falseabilidade como critério para distinguir ciência de pseudociência, e por sua vigorosa defesa da democracia liberal e da “sociedade aberta” contra o totalitarismo, defendendo o racionalismo crítico.

aceitos a priori. Nas ciências biológicas e naturais, o método hipotético-dedutivo é amplamente adotado, fundamentando-se na formulação de hipóteses que são submetidas a experimentações rigorosas e análises estatísticas para testar sua viabilidade frente à realidade empírica. Em contraste, nas ciências humanas e sociais, métodos como o dialético e o fenomenológico mostram-se mais adequados para tratar de fenômenos complexos e históricos. Enquanto a dialética enfatiza a contradição como motor de transformação social, a fenomenologia foca na compreensão dos significados das experiências vividas, buscando superar a redução da ciência à mera observação positivista [60].

Empirismo e Positivismo em Computação

A área de computação é frequentemente caracterizada como uma disciplina positivista, uma vez que se fundamenta em um sistema que aceita apenas o que pode ser cientificamente ou logicamente provado, modelando soluções de maneira racional e determinística [160]. Sob essa perspectiva, áreas como o desenvolvimento de algoritmos, por exemplo, buscam criar modelos que representem estados consistentes de conhecimento e fluxos de dados capazes de computar soluções em tempo finito [105, 192]. Essa abordagem positivista reflete-se na natureza da Ciência da Computação de prover soluções válidas conforme as condições internas dos sistemas computacionais, tratando conceitos sociotécnicos complexos por meio de relações binárias e variáveis que permitem avaliação rigorosa e pública de proposições, frequentemente utilizando a linguagem matemática para descrever leis científicas e prever comportamentos [162].

Por outro lado, a emergência da “Ciência da Computação Empírica” marca um deslocamento do foco nos processos internos de transformação algorítmica para a interação com o ambiente externo, fundamentando-se na premissa de que a verdade e as conclusões corretas só podem ser alcançadas por meio da experimentação e da experiência sensorial verificável [160]. Diferente dos modelos racionalistas puros, que priorizam a clareza conceitual e métodos dedutivos de cima para baixo (*top-down*), a computação empírica define a expressividade dos sistemas com base no seu comportamento observável, reconhecendo que a complexidade de sistemas abertos e reativos não pode ser totalmente capturada por funções computáveis isoladas [194]. Na prática de pesquisa, essa postura pode ser consolidada por metodologias como a DSR, que fundamenta a produção de saber na construção e avaliação de artefatos voltados à resolução de problemas reais, onde a teoria é validada por meio de evidências empíricas, coleta de dados primários e demonstrações em cenários reais.

Visto que a pesquisa proposta nesta tese emerge de uma necessidade do mundo real, e o empirismo prioriza fatos verificáveis, em princípio este estudo poderia assumir um caráter empirista, uma vez que fundamenta a produção de conhecimento na experiência verificável e na interação direta com o ambiente operacional. Entretanto, pelo fato de

adotar a metodologia DSR, onde o saber é validado por meio da construção e avaliação de artefatos voltados à resolução de problemas práticos, esta tese pode ser vista como experimental² (geralmente referida como *Empirical* na língua inglesa). Tal caráter é sustentado pelas evidências geradas durante o ciclo de relevância da pesquisa, que incluem a origem em necessidades reais, a coleta de dados primários e a demonstração final do modelo em um cenário real, tratando a experiência e a observação sistemática como as fontes primordiais de conhecimento.

Por outro lado, a proposta também exhibe fortes traços do positivismo ao propor um modelo prescritivo avaliado por métodos quantitativos. A proposta aproxima-se desta corrente ao integrar a modelagem à verificação por meio de dados brutos, tratando a SoSG como um fato científico cujas propriedades podem ser capturadas e analisadas estatisticamente para garantir a objetividade e a repetibilidade dos resultados. Esse alinhamento é evidenciado pela utilização de pesquisas de opinião com escalas Likert para avaliação do modelo, e pelo esforço em prover precisão semântica e regras rigorosas de operacionalização, refletindo a crença positivista na possibilidade de uma representação fiel e auditável da realidade.

Sendo assim, **este estudo assume um caráter híbrido, experimental e positivista**. Tal classificação é sustentada pelas evidências geradas durante a pesquisa (Figura 3.1), descritas a seguir: (i) Origem em Necessidades Reais; (ii) Coleta de Dados Primários; (iii) Tratamento do Objeto como Fato Científico; (iv) Verificação Quantitativa e Objetiva; (v) Demonstração em Cenário Real; (vi) Adoção de DSR.

- i. *Origem em Necessidades Reais*. A pesquisa nasce de uma necessidade do mundo real, utilizando o ambiente de um Tribunal de Justiça como base empírica para motivar e demonstrar a solução proposta. Isso caracteriza o que a metodologia DSRM define como ciclo de relevância, conectando o *design* do artefato a problemas práticos.
- ii. *Coleta de Dados Primários*. O trabalho utiliza pesquisas de opinião para coletar percepções de especialistas, unindo o aprendizado pela experiência (empirismo) ao rigor positivista de instrumentos padronizados. O uso de questionários estruturados visa garantir a intersubjetividade, permitindo que observadores independentes concordem com os resultados obtidos.
- iii. *Tratamento do Objeto como Fato Científico*. O estudo assume uma postura positivista ao tratar o SoS como um objeto de observação científica independente do pesquisador. Busca-se descrever a realidade como um conjunto de fatos positivos e

²Pesquisa Experimental como um procedimento técnico que envolve a manipulação de aspectos da realidade para verificar hipóteses [193]. O caráter experimental (ou pesquisa experimental), no contexto desta tese, refere-se ao método em que os dados são obtidos de forma sistemática por meio da construção e avaliação de um artefato.

propriedades objetivas que podem ser mapeadas e interpretadas sem a interferência de subjetividades.

- iv. *Verificação Quantitativa e Objetiva.* Este item possui raízes nitidamente positivistas, pois utiliza a análise de dados brutos e o suporte da estatística (escalas Likert) para avaliar o modelo. O objetivo é estabelecer relações causais e garantir que o artefato seja uma representação fiel, auditável e repetível da realidade estudada.
- v. *Demonstração em Cenário Real.* A viabilidade do artefato é verificada por meio de sua instanciamento prática, reforçando o caráter experimental de que a verdade científica deve encontrar respaldo na experiência sensorial e na observação do modelo instanciado em um ambiente real.
- vi. *Adoção de DSR.* A metodologia DSRM consolida o caráter híbrido do trabalho. Enquanto foca na resolução de problemas práticos (empirismo), busca a criação de um modelo prescritivo com rigor sintático e semântico. Essa busca por sistematização e regras rigorosas de operacionalização reflete a crença positivista na estruturação lógica da SoSG.

Por fim, é importante reforçar que esta tese, ao utilizar a metodologia DSRM, equilibra o rigor científico (base de conhecimento) com a relevância prática (dados empíricos), integrando a análise qualitativa da estrutura conceitual proposta, com a verificação quantitativa dos resultados, utilizando a experiência e a observação sistemática como fontes de conhecimento.

3.2.2 Abordagem de Pesquisa

Um outro ponto a ser discutido é a questão da **abordagem** utilizada. A abordagem de pesquisa refere-se ao paradigma ou à perspectiva que o pesquisador adota para representar, interrogar e compreender a realidade estudada [52]. O empirismo serve como a base fundamental tanto para a abordagem quantitativa quanto para a qualitativa, pois ambas dependem da coleta de dados da realidade para construir o conhecimento científico. Enquanto o empirismo se fundamenta na experiência, no relacionamento diário com as coisas e em processos de “tentativa e erro”, as abordagens científicas aprimoram esse senso comum por meio de métodos sistemáticos. A pesquisa quantitativa possui raízes profundas no pensamento positivista (a ciência deve ser baseada apenas em valores humanos [193]) e no empirismo clássico, que consideram que o conhecimento científico reside nos fatos [55]. A pesquisa qualitativa, embora critique o modelo positivista rígido, é essencialmente empírica em sua execução, pois o estudo ocorre no ambiente natural onde os fenômenos residem [52]. Abordagens (i) Quantitativa e (ii) Qualitativa de Pesquisa se referem ao plano ou estratégia que os pesquisadores utilizam para responder a uma pergunta de pesquisa, sendo sustentadas por diferentes filosofias e métodos [55].

- i. *Pesquisa Qualitativa*. Não se preocupa com a representatividade numérica, mas sim com o aprofundamento da compreensão de grupos sociais ou organizações. O pesquisador é, ao mesmo tempo, sujeito e objeto da pesquisa, lidando com o universo de significados, crenças e valores que não podem ser reduzidos a variáveis numéricas. É focada na interpretação do objeto e na importância do contexto.
- ii. *Pesquisa Quantitativa*. É centrada na objetividade e considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos e instrumentos padronizados. Recorre à linguagem matemática para descrever causas de fenômenos e relações entre variáveis, utilizando amostras grandes e representativas para garantir que os resultados constituam um retrato fiel da população.

Esta tese não se limita a uma única abordagem, podendo ser classificada como uma pesquisa de método **misto** ou **multimétodo**, fundamentada na metodologia DSR. O trabalho utiliza elementos tanto da abordagem qualitativa quanto da quantitativa para alcançar seus objetivos. A abordagem qualitativa manifesta-se no cerne da construção do Modelo Conceitual de SoSG, pois envolve a interpretação de conceitos complexos, o mapeamento sistemático da literatura para identificar lacunas teóricas e a análise de sugestões subjetivas de especialistas para o refinamento do artefato. A pesquisa qualitativa é essencial aqui para lidar com o “universo de significados, crenças e valores” inerentes à governança, e aos conceitos relacionados aos SoS. A abordagem quantitativa é aplicada na fase de avaliação e demonstração do modelo e na caracterização do domínio, por meio da utilização de pesquisas de opinião com instrumentos padronizados (escalas *Likert*) de coleta de dados, e realiza a análise estatística dos dados por meio de frequências e percentuais de concordância para medir a abrangência, completitude e precisão do modelo proposto.

A utilização da metodologia DSR também está alinhada à utilização dessa abordagens, por se tratar um paradigma de resolução de problemas que também é ser considerado multi-método. DSR faz uso de abordagens qualitativas (como entrevistas e grupos focais) para identificar problemas e abordagens quantitativas (como pesquisas de opinião e experimentos laboratoriais) para avaliar o desempenho e a utilidade de artefatos criados [184]. Já a metodologia AR é classificada como um método qualitativo desenhado para resolver problemas dentro de sistemas sociais, como organizações. Embora possua vertentes positivistas (testagem de teorias), seu foco principal é a descoberta por meio da ação e a geração de conhecimento compartilhado entre pesquisadores e participantes [21]. E a metodologia GT é predominantemente qualitativa, uma vez que utiliza uma abordagem indutiva para construir teorias a partir de dados empíricos. No entanto, é flexível e pode utilizar técnicas de geração de dados tanto qualitativas quanto quantitativas [177].

3.2.3 Métodos de Pesquisa

O Método de Pesquisa é a sequência de passos necessária para demonstrar que o objetivo proposto para um trabalho foi atingido [193]. Ele representa o caminho específico que o pesquisador descreve para alcançar seu objetivo e provar sua hipótese, detalhando se serão desenvolvidos protótipos, modelos teóricos ou quais experimentos serão realizados. Etimologicamente, o termo método deriva de *methodos*, que significa o caminho para chegar a um fim [55]. Diferente do Método Científico, é a aplicação prática e individual desses princípios em uma investigação específica, como uma monografia, tese ou dissertação. Enquanto o método científico oferece o fundamento lógico e sistemático geral, o método de pesquisa é o procedimento técnico escolhido (como pesquisa de opinião, estudo de caso ou pesquisa experimental, por exemplo) para trilhar o caminho de um projeto específico. De acordo com Wazlawick [193], os métodos de pesquisa podem ser classificados em três categorias: quanto a (i) Natureza; quanto aos (ii) Objetivos; quanto aos (iii) Procedimentos Técnicos.

i. *Quanto à Natureza.*

- Básica, que objetiva gerar conhecimentos novos, úteis para o avanço da Ciência, sem aplicação prática prevista. Envolve verdades e interesses universais.
- Aplicada, que objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais [55].

ii. *Quanto aos Objetivos.*

- Exploratória, onde o autor não tem necessariamente uma hipótese ou objetivo definido em mente.
- Descritiva, caracterizada pelo levantamento de dados e pela aplicação de entrevistas e questionários.
- Explicativa, que pode ser considerada um passo prévio para encontrar fenômenos não explicados pelas teorias vigentes.

iii. *Quanto aos Procedimentos Técnicos.*

- Pesquisa Bibliográfica, por meio de estudo de artigos, teses, livros ou outras publicações.
- Pesquisa Documental, pela análise de documentos ou dados que não foram sintetizados ou publicados.
- Pesquisa Experimental, pela manipulação de um aspecto da realidade do pesquisador vigentes.
- Pesquisa de campo, pelas investigações em que, além da pesquisa bibliográfica e/ou documental, se realiza coleta de dados junto a pessoas.
- Pesquisa de levantamento, por amostra ou população.

- Pesquisa de opinião, por meio da obtenção de dados ou informações sobre as características ou as opiniões de determinado grupo de pessoas, utilizando um questionário como instrumento de pesquisa.
- Estudo de Caso, é o estudo de uma entidade bem definida. Visa conhecer em profundidade o como e o porquê de uma determinada situação que se supõe ser única em muitos aspectos, procurando descobrir o que há nela de mais essencial e característico [185].

Esta tese caracteriza-se como uma **pesquisa aplicada**, visto que se volta à resolução de um problema real (a carência de modelos formais para operacionalização da governança em ambientes de SoS) e instancia o artefato criado no ambiente de um Tribunal de Justiça Estadual. Como **exploratória** e **descritiva**, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema para torná-lo explícito, por meio de mapeamento sistemático utilizado para identificar o estado da arte, as lacunas e os desafios sobre SoSG, objetivando descrever fatos ou fenômenos de desta realidade, como a caracterização do conjunto de sistemas de informação de um tribunal brasileiro como um SoS.

Os procedimentos técnicos utilizados são **pesquisa de opinião**, aplicado em três momentos críticos, para coletar percepções de especialistas visando avaliar a abrangência, completitude e precisão do modelo conceitual proposto e posteriormente instanciado, e para caracterizar o conjunto de SI do tribunal como um SoS, e **pesquisa bibliográfica**, utilizada de forma sistemática por meio da condução de um mapeamento sistemático da literatura sobre SoSG.

3.2.4 Estilos de Pesquisa em Computação

Wazlawick [193] argumenta que por particularidades da área de computação, especialmente relacionadas à utilização de métodos científicos vagos ou pela falta embasamento metodológico adequado para escrita de trabalhos científicos, monografias, dissertações e teses, seja utilizado um critério por estilo de pesquisa específico para Ciência da Computação e áreas correlatas, considerando especialmente o grau de amadurecimento da pesquisa na subárea específica, bem como seu inter-relacionamento com outras ciências. Estes estilos são: (i) Apresentação de um Produto; (ii) Apresentação de algo Diferente; (iii) Apresentação de algo Presumivelmente Melhor; (iv) Apresentação de algo Reconhecidamente Melhor; (v) Apresentação de uma Prova.

- Apresentação de um Produto.* Caracteriza-se por uma pesquisa eminentemente exploratória, comum em áreas muito novas onde ainda é difícil realizar comparações com trabalhos anteriores. Os resultados são apresentados na forma “fiz algo novo”, focando na criação de um sistema ou protótipo inédito. Embora aceitável em níveis

de graduação ou especialização quando demonstra a aplicação de técnicas aprendidas, essa abordagem é frequentemente considerada ingênua e insuficiente para mestrados ou doutorados em áreas mais maduras, pois falha em demonstrar um conhecimento novo além do sistema em si.

- ii. *Apresentação de algo Diferente*. Propõe uma nova forma de resolver um problema, utilizando comparações que são mais qualitativas do que quantitativas, como estudos de caso. É típico de áreas emergentes que carecem de grandes bases de dados para testes empíricos, exigindo que o pesquisador utilize uma hipótese bem fundamentada e uma argumentação convincente para validar sua teoria. Uma estratégia comum para aumentar o sucesso deste tipo de trabalho é o uso de tabelas comparativas que demonstrem como o novo artefato incorpora características relevantes de diversas abordagens existentes em um único modelo.
- iii. *Apresentação de algo Presumivelmente Melhor*. Exige que a nova abordagem seja comparada quantitativamente com outras referências da literatura. Quando não existem bancos de dados (*benchmarks*) internacionalmente aceitos, o próprio autor cria e realiza os testes, o que demanda um rigor adicional para garantir que as técnicas comparadas (preferencialmente do estado da arte) sejam testadas em condições ideais e com métricas objetivas. Este estilo foca em demonstrar que o novo método funciona melhor em situações específicas e explica o porquê dessa melhoria por meio de experimentos controlados.
- iv. *Apresentação de algo Reconhecidamente Melhor*. Representa o nível mais maduro da pesquisa empírica, fundamentando-se em testes padronizados e internacionalmente aceitos pela comunidade científica. Como os dados de entrada e as métricas já estão consolidados, os resultados podem ser reproduzidos de forma independente, facilitando o reconhecimento de que o trabalho efetivamente avançou o estado da arte. Esse tipo de pesquisa exige que o pesquisador tenha grande domínio da área para formular uma hipótese de trabalho que seja, ao mesmo tempo, promissora e viável.
- v. *Apresentação de uma Prova*. Insere-se no campo das pesquisas formais, em que os resultados devem ser demonstrados matematicamente conforme as regras da lógica. Muito comum em áreas como métodos formais e compiladores, este estilo foca na construção de teorias que provem logicamente a correção, a eficiência ou a inexistência de determinados algoritmos. Embora a elaboração de uma prova seja um processo rigoroso e complexo, seus resultados são os mais difíceis de serem refutados pela comunidade científica.

Uma vez que a SoSG é uma área relativamente nova, não consolidada e carente de definições estritas, esta tese enquadra-se predominantemente no estilo de pesquisa **Apresentação de algo Diferente**, com elementos que buscam evoluir para a **Apresenta-**

ção de algo Presumivelmente Melhor. Ao propor uma nova abordagem (Modelo Conceitual), a o trabalho apresenta uma forma diferente de resolver um problema, por meio de Modelo Conceitual de SoSG, seja como alternativa aos *frameworks* descritivos que dominam a literatura (apesar de terem objetivos diferentes), ou pela proposta de uma nova forma de representação, argumentando que esta abordagem oferece maior rigor sintático e precisão semântica para mitigar desafios da área de SoS.

Para defender este argumento, o trabalho utiliza comparações qualitativas, quantitativas e pesquisa de opinião com avaliação de especialistas quanto a percepção de precisão do modelo, e realiza a instanciação do artefato no ambiente real do Tribunal de Justiça de Goiás para provar sua viabilidade. Para que uma pesquisa atinja o estilo Reconhecidamente Melhor, que representa o nível mais maduro da pesquisa empírica, os resultados devem ser apresentados em função de testes cujos dados de entrada e métricas já sejam consolidados e aceitos internacionalmente pela comunidade científica (*benchmarks*), o que não é possível para a área de SoSG, uma vez que ela está ainda sendo consolidada, e os primeiros modelos estão sendo propostos.

3.3 Classificação da Tese e Contribuições Esperadas

Considerando os objetivos deste trabalho, o resultado esperado (um Modelo Conceitual de SoSG instanciado), e a metodologia utilizada como referência para sua elaboração, que a posiciona esta **tese como híbrida (experimental e positivista), multimétodo, de natureza aplicada, de objetivo exploratório e descritivo, que utiliza pesquisa de opinião e bibliográfica como procedimentos técnicos, no estilo “apresentação de algo diferente”, com elementos que buscam evoluir para a “apresentação de algo presumivelmente melhor”, é esperado que essa tese apresente uma série de contribuições teóricas para área de SoSG**, promovendo a sistematização do domínio e servindo como alicerce para sua evolução da área. Tais contribuições visam elevar o nível de abstração da área, permitindo que investigações futuras evoluam o modelo conceitual proposto.

3.4 Considerações Finais

Neste capítulo, foram apresentados e comparados os conceitos de Pesquisa-Ação (AR), *Grounded Theory* (GT) e *Design Science Research* (DSR), permitindo fundamentar a escolha da *Design Science Research Methodology* (DSRM) como a abordagem mais adequada para os objetivos esta tese. A análise demonstrou que, enquanto a AR e a GT possuem limitações para o escopo deste trabalho, a DSM fornece a estrutura necessária para a criação de um Modelo Conceitual de SoSG. Na sequência foi definida a utilização de DSRM, como forma de operacionalizar a DSR, baseada em 6 atividades: (i)

Identificar o Problema e Motivação; (ii) Definir Objetivos de uma Solução; (iii) *Design* e Desenvolvimento; (iv) Avaliação; (v) Demonstração; (vi) Comunicação.

Em seguida a metodologia utilizada foi discutida, e este trabalho foi posicionado como experimental e positivista, multi-método, do tipo pesquisa aplicada, exploratório, descritivo, que utiliza pesquisa de opinião e bibliográfica como procedimento técnico, no estilo “apresentação de algo diferente”, com elementos que buscam evoluir para a “apresentação de algo presumivelmente melhor”. Além disso, o capítulo delineou as contribuições teóricas esperadas desta tese, que incluem a sistematização da SoSG, a unificação de conceitos essenciais e a expansão da base de conhecimento através de diretrizes formais.

Uma Proposta de um Modelo Conceitual de SoSG Prescritivo (PreSoSG)

Conforme descrito no Capítulo 2, Governança e SoS são campos distintos que, embora possuam conceitos e aplicações próprias, convergem na necessidade de gerir ambientes tecnológicos de alta complexidade. Enquanto a governança define o conjunto de valores, processos e mecanismos de direção e controle organizacional, os SoS representam arranjos de sistemas independentes que interagem para prover funcionalidades superiores à soma de suas partes constituintes. Da união destes conceitos emerge a SoSG, que se trata de uma área nova, que enfrenta um problema crítico: a literatura científica carece de definições semânticas rigorosas e modelos prescritivos voltados à operacionalização. Atualmente, o domínio é dominado por abordagens puramente descritivas e *frameworks* de alto nível que necessitam rigor metodológico, dificultando a medição da eficácia da governança e a aplicação sistemática de princípios como transparência e responsabilidade em ambientes reais de SoS.

Para mitigar esses desafios, o objetivo deste capítulo é apresentar a proposta de um **Modelo Conceitual de SoSG prescritivo**, que visa sistematizar e fornecer as bases conceituais para o domínio emergente da SoSG, cobrindo lacunas apresentadas para área, especialmente no que diz respeito à representação por modelos, contribuindo significativamente para seu avanço. Para o desenvolvimento desta solução, foi utilizado o método de pesquisa DSR, conduzido de forma iterativa em quatro etapas: identificação do problema, revisão da literatura para eliciação de conceitos, criação do modelo conceitual e avaliação por meio de uma pesquisa de opinião com especialistas. O modelo foi estruturado em cinco pacotes semânticos (Sistemas-de-Sistemas, Governança, Processos, Independência Operacional e Independência Gerencial) e especificado por meio de Diagramas de Classes ¹, com objetivo de garantir a precisão sintática necessária para a representação em ambientes orientados a modelos (*Model Driven*).

¹Pertencente à Linguagem Modelagem Unificada (UML), é um artefato utilizado para modelar a estrutura estática de um sistema [131].

A principal justificativa para a proposição de um modelo conceitual **reside na natureza emergente e não consolidada da SoSG**. A institucionalização de mecanismos de controle é essencial para a viabilidade operacional de ambientes complexos, exigindo que os pilares de direcionamento sejam adaptados para coordenar colaborações multiorganizacionais sem comprometer a autonomia técnica dos membros. Além disso, a proposta tem potencial para oferecer diversas contribuições científicas, teóricas e práticas, que são objetos de estudo desta tese: (i) Sistematização da área de SoSG; (ii) Especificação de modelo com rigor e precisão estrutural; (iii) Unificação de conceitos essenciais de SoS e Governança; (iv) Integração de múltiplos modelos; e (v) Geração de conhecimento prescritivo.

O modelo proposto foi submetido a uma pesquisa de opinião com profissionais do mercado, pesquisadores, docentes, estudantes de graduação e pós-graduação, obtendo uma taxa de concordância de 83,3%, sendo considerado um Modelo Conceitual de SoSG válido. Embora a completitude e a representação de SoS tenham obtido concordância moderada (66,7%), o *feedback* qualitativo foi essencial para o refinamento do artefato, resultando em uma versão aprimorada com a inclusão de novas classes, além da adição de novos atributos às classes centrais.

O restante deste capítulo está organizado da seguinte forma: a Seção 4.1 apresenta o método de pesquisa; a Seção 4.2 detalha o Modelo Conceitual de SoSG proposto; a Seção 4.3 apresenta os resultados da avaliação do modelo junto a especialistas; a Seção 4.4 discute as limitações encontradas; a Seção 4.5 aborda os trabalhos relacionados; e a Seção 4.6 apresenta as considerações finais, contribuições e perspectivas para trabalhos futuros.

4.1 Método de Pesquisa

O método de pesquisa utilizado para a construção do Modelo Conceitual de SoSG fundamentou-se em DSR, conforme descrito no Capítulo 3, sendo operacionalizado em quatro etapas principais, ilustradas na Figura 4.1. O processo foi conduzido de forma iterativa, e a primeira etapa envolveu a identificação do problema, que serviu de base para a definição do objetivo do estudo (1). Posteriormente, foi realizada uma revisão da literatura para identificar os principais conceitos relacionados à SoSG e trabalhos correlatos (2). Em seguida, foi desenvolvida uma versão inicial do Modelo Conceitual de SoSG. A avaliação do modelo proposto foi realizada por meio de uma pesquisa de opinião, administrada para verificar se o artefato constituía um Modelo Conceitual de SoSG válido (3). Os dados coletados foram analisados, levando à apresentação de uma versão aprimorada do modelo (4).

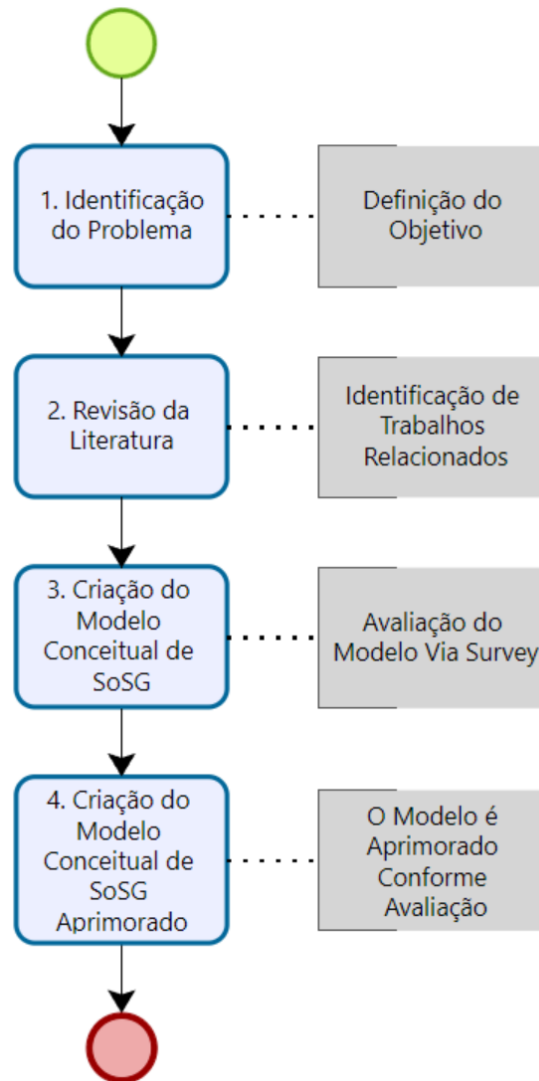


Figura 4.1: Método de Pesquisa para Construção do Modelo Conceitual.

4.2 Modelo Conceitual de SoSG Proposto

Nesta seção é apresentada a proposta de um modelo conceitual de SoSG, contendo seus elementos principais e a forma que se relacionam. Para facilitar o entendimento o modelo foi dividido em cinco pacotes, ilustrado em alto nível na Figura 4.2, utilizando notação ArchiMate [176]. Os elementos Sistemas-de-Sistemas (SoS) e Sistemas Constituintes (CS) são representados na forma de sistemas de software, Governança como um objeto de negócio, Modelo de Processo como processo de negócio, e Independência Operacional (IO) e Gerencial (IG) como regras de negócio. Essa representação de alto nível é importante para estabelecer a organização macro do modelo e facilitar a compreensão dos diferentes papéis e das interações essenciais entre seus elementos, servindo como base estrutural para o detalhamento técnico subsequente em UML, que posteriormente servirá como referência para organização do modelo proposto.

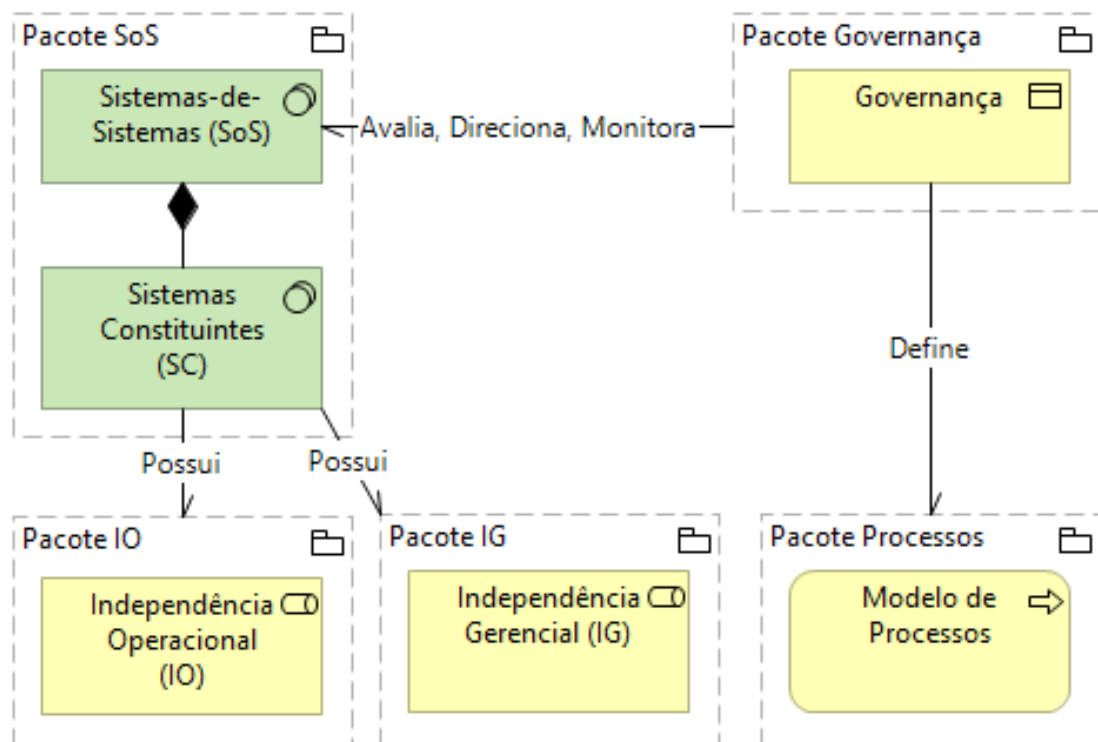


Figura 4.2: Visão de Alto Nível do Modelo Conceitual.

Uma vez que o objetivo é propor um modelo conceitual, a Figura 4.2 foi convertida na Figura 4.3, que utiliza o diagrama de classes para especificação do modelo. De acordo com Dridi et al. [46], trata-se de uma notação mais adequada para representação em ambientes orientados a modelos, sendo o principal motivo pelo qual essa linguagem foi escolhida. Além disso, outros trabalhos também fazem uso dessa mesma notação para representar modelos de SoS, como em Gonçalves et al. [59], que também utiliza a notação para representar SiSoS. Apesar de terem objetivos distintos, e utilizarem diferentes notações, ambas as figuras apresentam visões de alto nível do modelo, possuem a mesma semântica e visam fornecer a ideia da organização macro do modelo conceitual proposto.

A segmentação em pacotes foi utilizada com o objetivo de organizar a semântica do modelo e facilitar seu entendimento, uma vez que fornece a ideia de papéis diferentes e da comunicação entre seus elementos. O pacote SoS representa seu conceito e principais características, Governança refere-se a seu conceito e principais elementos, Processos aos processos definidos pela governança para o contexto dos SoS, visando definir quais são os seus processos obrigatórios, Independência Operacional e Independência Gerencial visam representar os principais conceitos relacionados aos CSs dos SoS, reforçando a natureza obrigatória dessas características. Essa organização foi utilizada como referência para a construção do restante do modelo, concebido em três etapas: (i) construção de um modelo de SoS; (ii) construção de um modelo de governança; (iii) definição de um Modelo Conceitual de SoSG, por meio da combinação dos modelos precedentes.

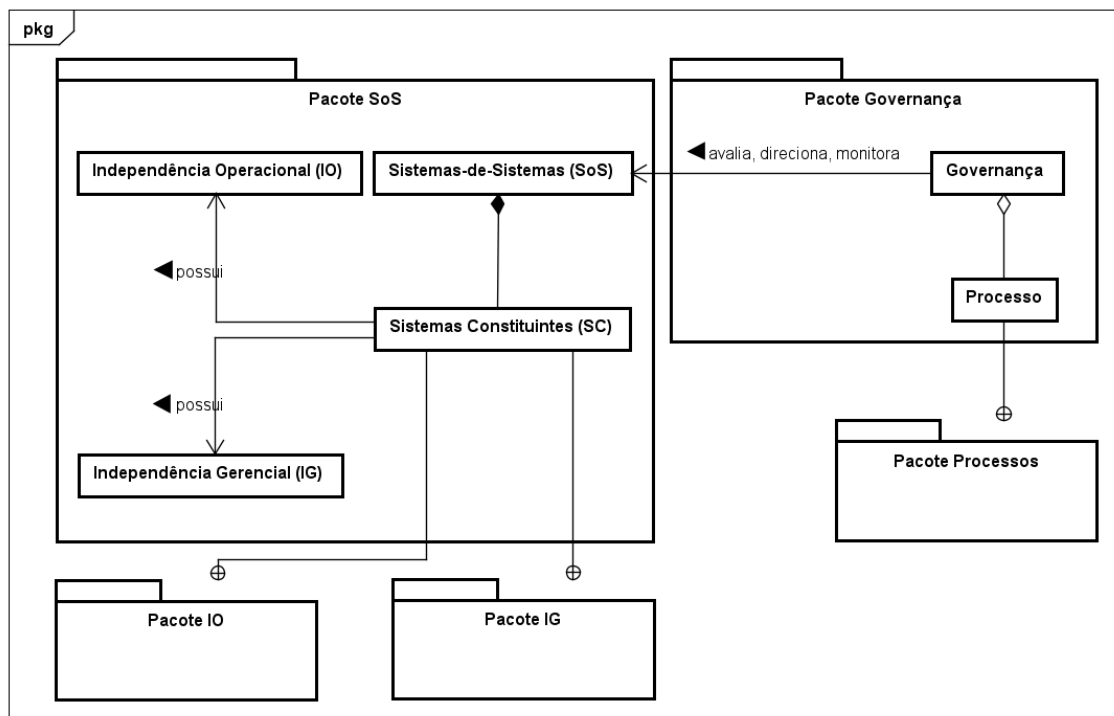


Figura 4.3: Visão de Alto Nível do Modelo Conceitual em UML.

A segmentação em pacotes foi adotada para organizar a semântica do modelo e conferir clareza à comunicação entre seus elementos e papéis. O pacote SoS abrange os conceitos e características fundamentais do sistema; Governança detalha seus elementos estruturais; e Processos delinea as atividades obrigatórias definidas pela governança no contexto de SoS. Já os pacotes Independência Operacional e Gerencial reforçam a natureza dessas propriedades nos CSs. Essa estrutura serviu de base para o desenvolvimento do modelo, cuja elaboração foi dividida em cinco etapas, detalhadas a seguir: (i) criação do modelo de SoS; (ii) criação do modelo de governança; (iii) criação do modelo de processos; (iv) criação dos modelos de independência operacional e gerencial; (v) consolidação do Modelo Conceitual de SoSG, integrando as etapas anteriores.

4.2.1 Pacote SoS

O primeiro modelo desenvolvido foi o Pacote SoS (Figura 4.4). Os conceitos, atributos e relacionamentos contidos no modelo proposto foram observados em outros estudos [10, 45, 96, 143] com propostas semelhantes, e serviram como referência. Dridi et al. [45] apresentam uma proposta de metamodelo de SoS, instanciado em um modelo para respostas de emergência de aeronaves; Lahboube et al. [96] propõem um metamodelo de supervisão para Sistemas Complexos, realizado com a configuração de um projeto de Sistema de Informação Hospitalar (HIS, do inglês *Hospital Information System*) em um hospital militar; Qaddoumi et al. [143] apresentam a representação semântica de

um metamodelo de requisitos de qualidade para SoS; e Baek et al. [10] propõem um metamodelo para a representação de ontologias de SoS.

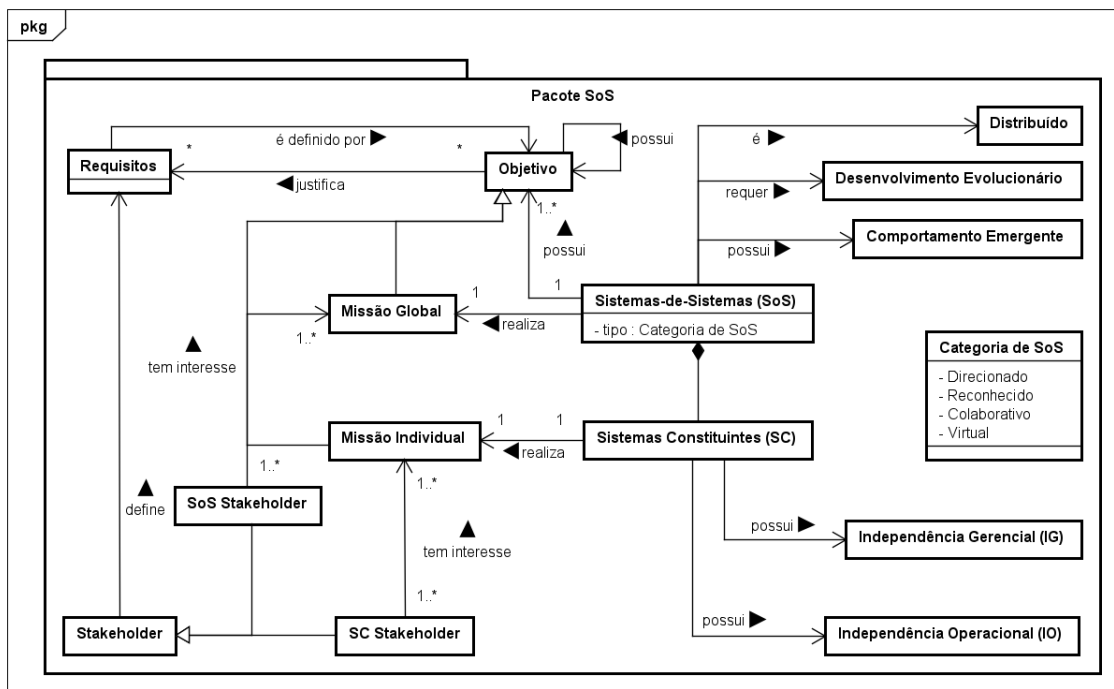


Figura 4.4: *Modelo SoS.*

O detalhamento do Pacote SoS consolida a estrutura estática e as interdependências conceituais do domínio. A classe *Sistemas-de-Sistemas (SoS)* é o elemento central (núcleo) do modelo, apresentando o atributo *tipo* vinculado à enumeração *Categoria de SoS* (*Direcionado*, *Reconhecido*, *Colaborativo* ou *Virtual*). O modelo estabelece que o SoS é caracterizado por ser *Distribuído*, requerer *Desenvolvimento Evolucionário* e manifestar *Comportamento Emergente*. Estruturalmente, o SoS é definido como uma composição de um ou mais CSs, os quais detêm, obrigatoriamente, as propriedades de *Independência Gerencial (IG)* e *Independência Operacional (IO)*.

No que concerne à finalidade do sistema, o SoS possui um ou mais *Objetivos*, sendo a *Missão Global* representada como uma especialização (subclasse) de *Objetivo*. Enquanto o SoS realiza a *Missão Global*, cada CS é responsável por realizar sua respectiva *Missão Individual*. O alinhamento estratégico é garantido pela relação entre *Objetivos* e *Requisitos*: objetivos justificam os requisitos, ao passo que estes definem os objetivos do sistema. Por fim, a estrutura de partes interessadas é organizada hierarquicamente a partir da classe *Stakeholder*, que define os requisitos e se especializa em *SoS Stakeholder* e *SC Stakeholder*, possuindo interesses diretos na *Missão Global* e na *Missão Individual*, respectivamente

fundamentam suas decisões, abrangendo Leis, Padrões, Melhores Práticas, Recomendações, Processos e Atributos de Qualidade (QA). Por fim, o diagrama introduz a ideia de um Modelo de Maturidade vinculado à classe Compliance, indicando que a conformidade normativa pode ser mensurada e evoluída por meio de avaliações de maturidade, servindo como base para futuras métricas de eficácia do modelo.

4.2.3 Pacote Processos

O Pacote Processos, representado na Figura 4.6, detalha os elementos dos processos de negócio definidos pela governança. Cada ambiente de SoS pode exigir processos diferentes, de acordo com as regras do ambiente onde o SoS está sendo executado, como o desenvolvimento, operação e manutenção dos CSs, por exemplo. Este pacote foi criado com base na análise de outros estudos [96, 97], que também definem processos como parte do SoS ou da Governança.

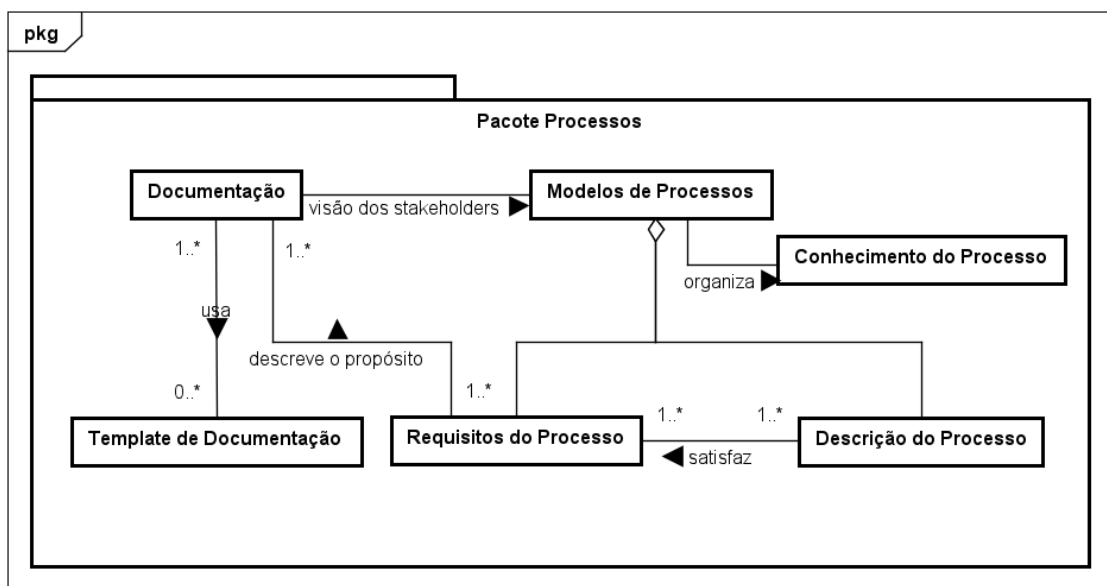


Figura 4.6: Modelo Processo.

O modelo reconhece que cada ambiente de SoS demanda processos específicos, como desenvolvimento, operação e manutenção de software, por exemplo, condicionados às regras do local onde o sistema é executado. A classe central deste pacote é o Modelos de Processos, que atua como um agregador do Conhecimento do Processo. Estruturalmente, o diagrama estabelece que a Documentação utiliza um ou mais Templates de Documentação para registrar o propósito dos Requisitos do Processo. Essa documentação fornece a visão dos *stakeholders* sobre como os modelos devem ser construídos. Por fim, a classe Descrição do Processo tem a responsabilidade de satisfazer integralmente os requisitos estabelecidos, garantindo que as atividades operacionais estejam alinhadas às diretrizes contratuais da governança.

4.2.4 Pacotes Independência Operacional e Gerencial

Os modelos de independência operacional (Figura 4.7) e gerencial (Figura 4.8) foram criados com o objetivo principal de reforçar a importância de ambos os conceitos como propriedades de um SoS; conseqüentemente, é importante que sejam explicitamente referenciados pela SoSG. Semelhante aos outros modelos, estes também foram criados com base na análise de outros estudos [172, 173, 203] que contêm ambas as definições em detalhes.

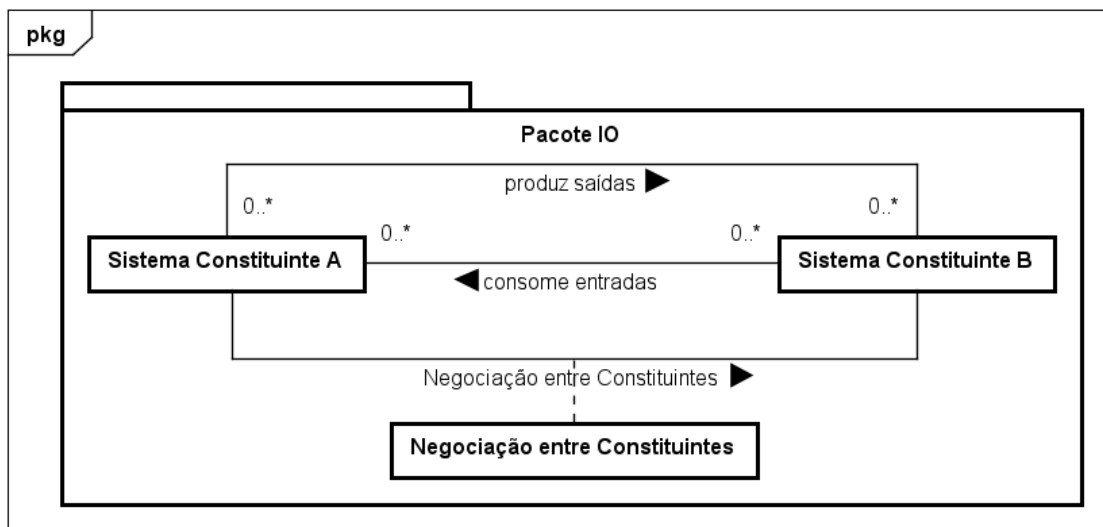


Figura 4.7: Modelo Independência Operacional.

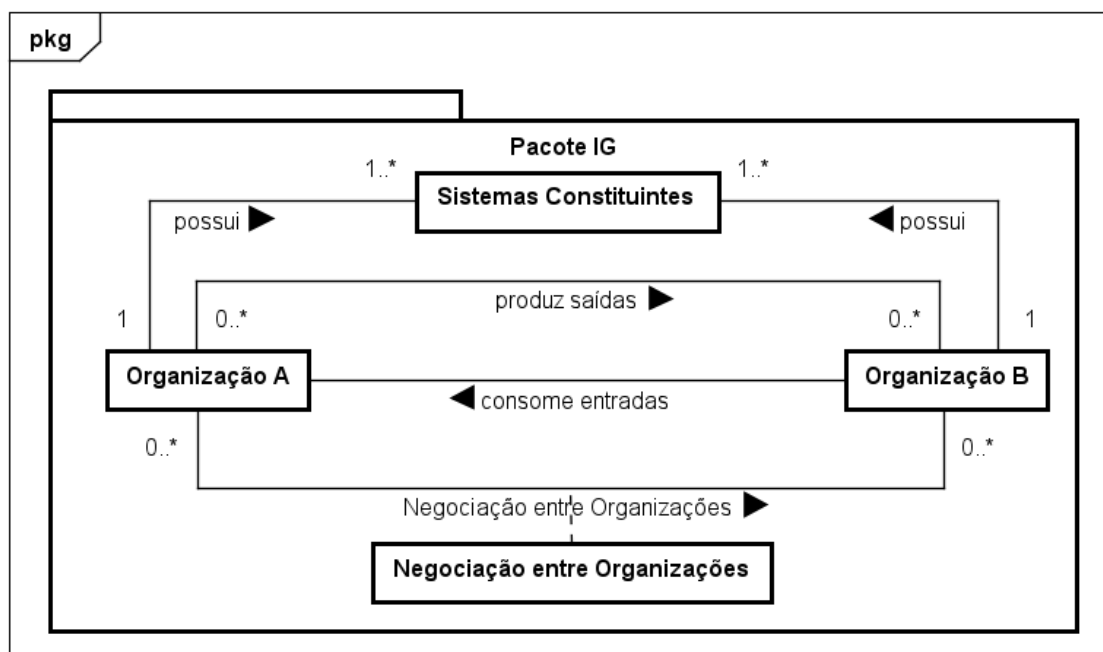


Figura 4.8: Modelo Independência Gerencial.

No Pacote IO, um CS (A) atua como produtor de saídas (*outputs*) enquanto o outro CS (B) atua como consumidor de entradas (*inputs*). O elemento crucial deste pacote é a classe Negociação entre Constituintes, que vincula a associação de comunicação. Ela mostra que o fluxo de dados não é uma imposição centralizada, mas o resultado de um acordo técnico entre as partes, preservando a capacidade de cada CS operar de forma útil e independente mesmo fora do SoS.

No Pacote IG, a dinâmica de interdependência ocorre no nível organizacional, onde uma entidade (A) supre resultados enquanto a outra (B) adquire insumos. O ponto de controle é a Negociação entre Organizações, representada como uma classe de associação que regula a troca de recursos entre os proprietários. Essa estrutura visa garantir que os CSs permaneçam sob a gestão e autoridade de suas próprias organizações, permitindo que estas mantenham metas administrativas e objetivos locais que podem, eventualmente, divergir da missão global do SoS.

4.2.5 Modelo Conceitual

Conforme citado na introdução, o artefato central resultante desta pesquisa, denominado **PreSoSG**, é um Modelo Conceitual de SoSG (Figura 4.9). A adoção desta nomenclatura atende às recomendações de prover um identificador claro para o modelo, destacando seu caráter prescritivo como um diferencial científico necessário para superar a predominância de *frameworks* puramente descritivos identificados no estado da arte.

Sendo assim, a presente seção marca a materialização do objetivo central desta pesquisa: a sistematização do domínio da SoSG por meio da entrega de um artefato original e prescritivo. O desenvolvimento da proposta do PreSoSG foi concebido a partir de um processo iterativo conduzido em três etapas: (i) a construção de um modelo de SoS; (ii) a elaboração de um modelo de governança; e (iii) a unificação de ambos, incorporando os pacotes de Processos, Independência Operacional e Independência Gerencial detalhados nas seções anteriores.

A importância dessa junção reside na necessidade de superar as abordagens predominantemente descritivas da literatura, provendo o rigor sintático e a precisão semântica indispensáveis para a operacionalização da SoSG em ambientes reais. Ao promover a integração desses modelos previamente definidos, o artefato harmoniza a dualidade de requisitos entre a necessidade de controle (funções de governança) e a preservação da autonomia (propriedades de SoS), transformando o que antes era uma abstração teórica em um modelo prescritivo.

Dessa forma, como descrito no início desta seção, a organização em pacotes não é meramente estética, sendo fundamental para estruturar a comunicação macro entre os elementos e facilitar a compreensão dos diferentes papéis no ambiente. Essa arquitetura

assegura que o modelo de SoSG proposto possa representar processos obrigatórios e requisitos normativos de governança, no contexto em que for aplicado, que respeitem a IO e a IG entre os CS, com objetivo de assegurar que o SoS atinja seus objetivos globais sem comprometer a existência independente de seus constituintes, que é uma característica essencial dos SoS.

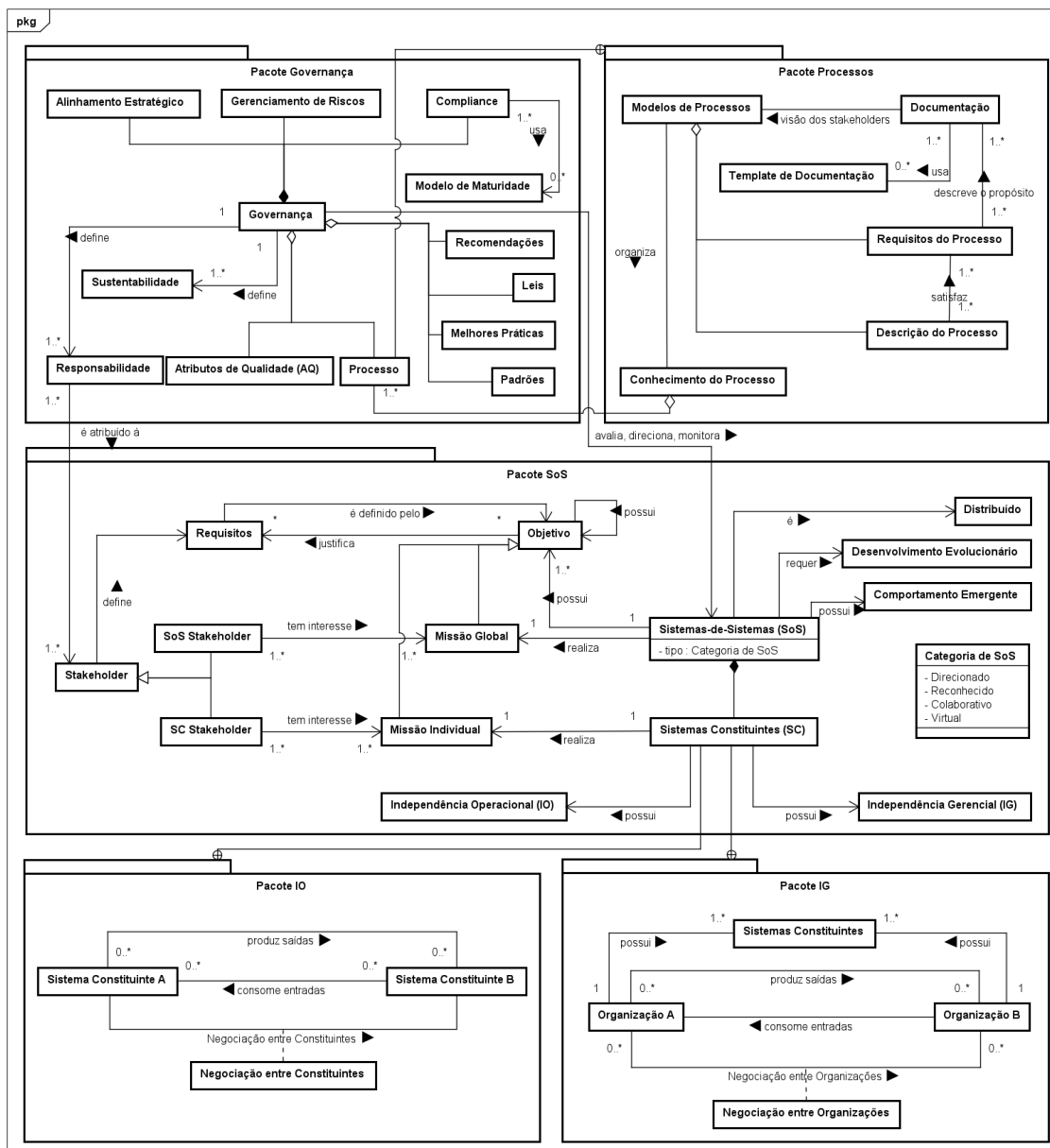


Figura 4.9: PreSoSG.

A dinâmica central do modelo ocorre por meio da classe Governança, que exerce as funções de avaliar, direcionar e monitorar (EDM) sobre a classe Sistemas-de-Sistemas (SoS). Esta relação é materializada pela definição de itens obrigatórios, requisitos normativos e recomendações técnicas que o metassistema deve observar para atingir sua Missão Global. Ao estabelecer esse fluxo direto de autoridade, o modelo visa

garantir que a governança atue como um sistema ativo de controle, capaz de orientar a evolução do SoS e assegurar o alinhamento estratégico enquanto monitora continuamente a conformidade dos resultados entregues pelo SoS.

Estruturalmente, o modelo utiliza o conceito de aninhamento para definir hierarquia e propriedade entre os elementos. A classe Processo está inserida no Pacote Processos, o que vincula seu ciclo de vida diretamente às diretrizes de governança e agrupa os elementos comuns necessários para a execução de atividades obrigatórias. De forma análoga, a classe Sistema Constituinte (CS) é vinculada aos pacotes de Independência Operacional (IO) e Independência Gerencial (IG), reforçando a semântica de que estas são propriedades intrínsecas e mandatórias, as quais devem ser preservadas pela governança para garantir que a autonomia dos sistemas membros não seja violada.

Embora as classes IO e IG sejam fundamentais para preservar a autonomia dos sistemas constituintes, o PreSoSG trata a Distribuição, o Desenvolvimento Evolucionário e o Comportamento Emergente como características essenciais do SoS, modeladas como classes explicitamente representadas, e vinculadas de forma exclusiva. Esta representação direta reforça a semântica de que tais elementos não são apenas atributos acessórios, mas características mandatórias que definem a natureza do ambiente. Ao isolar estas propriedades e relacioná-las unicamente ao SoS, o modelo estabelece que o objeto da governança é, por definição, um arranjo Distribuído, que requer Desenvolvimento Evolucionário contínuo para sua adaptação e que manifesta Comportamento Emergente como resultado da interação de seus membros. Essa estrutura assegura que a presença dessas propriedades seja reconhecida explicitamente no *design* do artefato, impondo que qualquer diretriz de governança considere as considere como fundamentais.

Outro ponto de integração reside na relação de agregação entre as classes Processo e Conhecimento do Processo. Embora o conhecimento seja o componente que constitui logicamente a inteligência operacional das atividades, o modelo reforça que ambos são elementos independentes, permitindo que a base de conhecimento evolua sem necessariamente exigir a alteração da estrutura formal do processo. Essa distinção é importante para prover a flexibilidade e a adaptabilidade exigidas pela SoSG, permitindo que incorpore novas lições aprendidas e outros padrões mais eficientes, sem comprometer a estabilidade do SoS governado.

O modelo estabelece um elo de rastreabilidade entre as funções normativas e a partes interessadas, por meio da relação entre as classes Responsabilidade e Stakeholder. Ao vincular as responsabilidades definidas no âmbito da governança diretamente aos atores interessados (SoS e CS *Stakeholders*), o artefato permite que a prestação de contas (*accountability*) seja personalizada e auditável. Essa conexão visa garantir que cada requisito ou objetivo estratégico esteja associado a um papel responsável, transformando as abstrações normativas em mecanismos de controle funcionais que podem ser efetivamente

monitorados e avaliados pelos gestores do SoS.

Vale salientar que o PreSoSG foi estruturado para operar em ambientes distribuídos, onde a autoridade de governança não se baseia em hierarquia de comando direto, mas em coordenação normativa e técnica. Em cenários que envolvem múltiplas organizações (integração entre o Judiciário, Ministérios e órgãos de Segurança Pública, por exemplo), o modelo comporta-se como um *framework* de negociação federada. O comportamento do ambiente é regido pelo pacote Independência Gerencial (IG), que utiliza a classe “Negociação entre Organizações” para formalizar acordos de nível de serviço e troca de dados sem violar a soberania administrativa de cada instituição. Nessa dinâmica, o modelo não centraliza o poder, mas fornece as interfaces de conformidade necessárias para que cada organização, mantendo seus próprios objetivos locais, contribua para a missão global do SoS de forma auditável e rastreável.

Adicionalmente, o PreSoSG fomenta a interoperabilidade plena ao transpor requisitos de comunicação abstratos para uma estrutura de Interfaces UML e associações de realização. Diferente de *frameworks* descritivos, o modelo estabelece que a interoperabilidade é gerenciada diretamente pelo SoS e deve ser “realizada” obrigatoriamente pelos constituintes através de contratos técnicos. Na prática, isso significa que o modelo fornece o arcabouço para que padrões (como o Modelo Nacional de Interoperabilidade - MNI) sejam mapeados como interfaces que os sistemas membros devem implementar para garantir a fluidez dos dados. Além disso, a inclusão do mecanismo de “Negociação entre Constituintes” no pacote de Independência Operacional permite que essa interoperabilidade ocorra sem violar a autonomia técnica, resolvendo conflitos de protocolo de forma federada e assegurando que a troca de informações seja contínua, auditável e rastreável em todo o ambiente.

É importante destacar que a originalidade do PreSoSG não reside na criação de novos conceitos isolados de governança ou de SoS, mas sim na sua unificação em um modelo de caráter prescritivo. Enquanto a literatura mapeada no Capítulo 2 é predominantemente descritiva e fragmentada, este trabalho introduz o rigor sintático da UML para transformar abstrações em diretrizes operacionais auditáveis. Sua principal inovação está relacionada à integração das funções principais de governança (Avaliar, Direcionar e Monitorar) diretamente sobre as propriedades de SoS, mais especificamente as Independências Operacional e Gerencial. Diferente de *frameworks* anteriores, o PreSoSG estabelece que a autoridade de governança deve ser exercida sem violar a autonomia técnica dos sistemas constituintes, utilizando as interfaces de realização como o mecanismo técnico para garantir essa harmonia.

Por fim, o PreSoSG foi submetido à avaliação de especialistas no domínio de governança e/ou SoS, para ser avaliado quanto à sua abrangência, completitude, precisão sintática e precisão semântica. Os resultados desta avaliação são apresentados na próxima

seção.

4.3 Avaliação do Modelo

Para avaliar se o PreSoSG pode de fato ser considerada um Modelo Conceitual de SoSG, foi projetada uma pesquisa de opinião, detalhada no Apêndice C. Uma pesquisa de opinião (*Survey*) é uma técnica amplamente utilizada em diversos campos para adquirir conhecimento por meio da observação das respostas, atitudes e comportamentos de profissionais entrevistados, proporcionando uma compreensão mais ampla de um fenômeno de interesse [100, 188]. Dado que o objetivo é compreender se o artefato proposto representa uma determinada realidade, decidimos utilizar a pesquisa de opinião como estratégia. Para este fim, foi desenvolvido um protocolo de pesquisa inspirado em Lebtag et al. [100], juntamente com um questionário correspondente para coletar as percepções dos participantes em relação ao modelo proposto. O protocolo foi definido em três etapas: (i) planejamento; (ii) execução; (iii) análise. Na fase de planejamento, foram definidos os objetivos da pesquisa e suas métricas, o público-alvo, o plano de amostragem e o questionário. A execução foi realizada por meio do envio de convites para responder ao questionário, seguido pela análise dos dados obtidos.

4.3.1 Planejamento

Na fase de planejamento, foram definidas as seguintes Questões de Pesquisa (QPs): **(RQ1)** *O modelo representa com precisão os conceitos de Governança?*; **(RQ2)** *O modelo representa com precisão os conceitos de SoS?*; **(RQ3)** *O modelo contém os conceitos, atributos e relacionamentos essenciais necessários para representar precisamente um Modelo Conceitual de SoSG?*; **(RQ4)** *O modelo pode ser considerado um Modelo Conceitual de SoSG?*.

As métricas utilizadas para avaliar o PreSoSG (Abrangência, Completitude, Precisão Semântica e Precisão Sintática) foram fundamentadas no trabalho de Lebtag et al. [100], que estabelece diretrizes para a evolução de notações e modelos em Engenharia de Software por meio de surveys com profissionais. Abrangência (**M1**) avalia se o modelo incorpora os principais conceitos-chave do domínio de pesquisa, conforme definido na literatura existente; Completitude (**M2**) avalia se cada conceito dentro do modelo está totalmente definido, incluindo os seus atributos e relacionamentos necessários; Precisão Semântica (**M3**) avalia se os conceitos representados no modelo refletem com precisão as entidades do mundo real; Precisão Sintática (**M4**) mede a aderência do modelo às regras formais de suas linguagens de modelagem especificadas (UML).

A geração dessas métricas ocorreu de forma sistemática por meio do mapeamento das Questões de Pesquisa (RQs) aos itens do formulário de avaliação, quantificados via escalas Likert. Este método permitiu transformar a percepção qualitativa dos especialistas em dados estatísticos de concordância, assegurando que a viabilidade do artefato fosse medida de forma objetiva dentro do ciclo de design da DSR. A Tabela 4.1 mostra a relação entre as métricas e cada RQ.

Tabela 4.1: *Relação entre RQs e Métricas.*

	RQ1	RQ2	RQ3	RQ4
M1	x	x	x	
M2			x	
M3				x
M4	x	x	x	

Subsequentemente, o público-alvo foi definido, sendo composto por profissionais da indústria, pesquisadores, docentes/palestrantes, alunos de graduação e pós-graduação com algum nível de conhecimento em governança e/ou SoS. O plano de amostragem adotado foi a amostragem acidental, que se caracteriza pelo envio de convites a um grande número de participantes, e a amostragem *snowball* (bola de neve), ao solicitar que os participantes convidassem profissionais próximos [103].

Finalmente, foi projetado um questionário estruturado em três seções. A primeira seção foi o termo de consentimento. A segunda seção incluiu o levantamento de dados demográficos, considerando nacionalidade, idade, gênero, escolaridade, ocupação principal, tempo de experiência profissional e nível de conhecimento em Governança e SoS, seguido de uma explicação detalhada e de alto nível do modelo, visando facilitar seu entendimento, a compreensão de suas partes e como elas se comunicam. Na terceira seção, cada parte do modelo foi explicada separadamente em detalhes, seguida pelas questões de pesquisa e uma pergunta aberta solicitando sugestões para melhorar o modelo. As questões de pesquisa foram avaliadas por meio de perguntas fechadas, e as respostas foram baseadas em uma escala Likert, com as seguintes opções: Discordo totalmente; Discordo; Neutro; Concordo; Concordo totalmente; Não sei responder. As perguntas abertas (OEQ) e fechadas (CEQ) são descritas a seguir.

- **OEQ1:** Qual sua nacionalidade?
- **OEQ2:** Qual sua idade?
- **CEQ3:** Qual o seu gênero?
- **CEQ1:** Qual o seu grau de instrução?
- **CEQ2:** Qual a natureza da sua ocupação?
- **CEQ3:** Quantos anos de experiência na área você tem?
- **CEQ4:** Qual o seu nível de conhecimento em Governança?
- **CEQ5:** Qual o seu nível de conhecimento em SoS?

4.3.2 Execução

Na fase de execução, o questionário foi enviado via e-mail aos participantes. O levantamento foi realizado entre 30 de setembro de 2025 e 15 de outubro de 2025. Foram obtidas seis respostas, um número que pode ser considerado suficiente para o objetivo da pesquisa. Peffers et al. [139] não oferecem um número ideal de respondentes para esse tipo de pesquisa, mas a avaliação deve observar e medir o quão bem o artefato sustenta uma solução para o problema, exigir o conhecimento de métricas e técnicas de análise relevantes, e garantir que a avaliação tenha utilidade, qualidade e eficácia.

4.3.3 Análise

Os dados obtidos foram analisados quantitativamente. Em relação aos dados demográficos, todos os respondentes são brasileiros, com idade variando entre 37 e 61 anos, sendo 5 (83,3%) do sexo masculino e 1 (16,6%) do sexo feminino. A formação acadêmica inclui 3 com pós-doutorado (50%), 1 com mestrado (16,6%), 1 doutorando (16,6%) e 1 com Ph.D. (16,6%). Os respondentes possuem 16 ou mais anos de experiência profissional, primordialmente na academia, exibindo um nível de conhecimento de moderado a avançado tanto em Governança quanto em SoS. Este perfil é considerado adequado para o objetivo da pesquisa, visto que esses indivíduos possuem um nível de conhecimento apropriado na área e um alto nível de escolaridade.

Para abordar as questões de pesquisa e suas métricas, o formulário apresentou quatro afirmações: (i) O modelo apresentado acima representa com precisão os conceitos de Governança; (ii) O modelo apresentado acima representa com precisão os conceitos de SoS; (iii) O modelo apresentado acima contém os conceitos, atributos e relacionamentos essenciais necessários para representar precisamente um modelo conceitual de SoSG; (iv) O modelo mostrado apresentado pode ser considerado um Modelo Conceitual de SoSG. A primeira afirmação refere-se à Figura 4.5, a segunda à Figura 4.4, e a terceira e quarta à Figura 4.9. O resultado está detalhado nas Tabelas 4.2 e 4.3.

Tabela 4.2: Respostas às Questões de Pesquisa - $n = 6$.

	RQ1	RQ2	RQ3	RQ4
Discordo totalmente	0	1	0	0
Discordo	0	0	0	0
Neutro	1	1	2	1
Concordo	4	3	2	2
Concordo totalmente	1	1	2	3
Não sei responder	0	0	0	0

RQ1 alcançou uma alta taxa de concordância de 83,3%, o que confirma que o Modelo de Governança (Figura 4.5) é considerado adequado para representar os conceitos

Tabela 4.3: *Análise Quantitativa e Alinhamento com as Métricas.*

RQ	Métrica	Concordo + Concordo Totalmente
RQ1 (Conceitos de Governança)	M1, M4	83,3% (5/6)
RQ2 (Conceitos de SoS)	M1, M4	66,7% (4/6)
RQ3 (Elementos de SoSG)	M1, M2, M4	66,7% (5/6)
RQ4 (viabilidade como Modelo de SoSG)	M3	83,3% (5/6)

de Governança. A RQ2 obteve uma taxa de concordância moderada de 66,7%, o que indica que, embora o Modelo de SoS (Figura 4.4) cumpra seu objetivo, a representação específica dos conceitos de SoS e seus elementos essenciais levanta questões que precisam ser verificadas. A RQ3 também obteve uma taxa de concordância moderada de 66,7%, o que indica que, embora o PreSoSG (Figura 4.9) tenha sido considerado adequado pela maioria dos respondentes, o fato de dois especialistas terem adotado uma postura neutra sugere uma incerteza significativa quanto à sua completude (M2), ou seja, se ele realmente contém os atributos e relacionamentos necessários. Finalmente, a RQ4 também alcançou uma alta taxa de concordância de 83,3%, **o que indica que o modelo apresentado (Figura 4.9) pode de fato ser considerado um Modelo Conceitual de SoSG**, atestando que a proposta cumpre seu objetivo de fornecer uma estrutura coerente para o domínio de SoSG, que é o objetivo principal deste capítulo. Em relação à pergunta aberta, foram apresentadas as seguintes sugestões para o aprimoramento do modelo (em inglês, conforme digitado pelos respondentes, traduzido em seguida).

- *“Operational and Managerial independence are intrinsic to each CS. Then, why are they describing relationships among CS and organizations?” (Independência operacional e gerencial são intrínsecas a cada CS. Então, por que elas estão descrevendo relacionamentos entre CS e organizações?)*
- *“It may not be accurate representing all SoS types and characteristics in a single model. In general, an SoS gathers information from CS, process it and deliver outcomes not able to be delivered by any of the CS individually.” (Pode não ser preciso representar todos os tipos e características de SoS em um único modelo. Em geral, um SoS reúne informações dos CS, as processa e entrega resultados que não podem ser entregues por nenhum dos CS individualmente.)*
- *“I think it can be considered a preliminary SoSG conceptual model, but a more complete description of each element/relationship would be required to analyze if it is complete and sound.” (Acho que pode ser considerado um modelo conceitual preliminar de SoSG, mas uma descrição mais completa de cada elemento/relacionamento seria necessária para analisar se ele está completo e sólido.)*
- *“Add minimum attributes to key classes (Governance, Process/Process Model, Requirement, Constituent System), such as owner, version, inputs/outputs.” (Adicione*

atributos mínimos às classes principais (Governança, Processo/Modelo de Processo, Requisito, Sistema Constituinte), tais como proprietário, versão, entradas/saídas.)

- *“Define formal constraints and clear cardinalities.” (Defina restrições formais e cardinalidades claras.)*
- *“Improve stakeholder integration.” (Melhorar a integração das partes interessadas.)*
- *“It’s a very robust and well-structured model. Suggested concepts that could be incorporated: Resource Allocation, Governance Metrics, Change and Evolution Management, and Interoperability Mechanisms/Standards.” (É um modelo muito robusto e bem estruturado. Conceitos sugeridos que poderiam ser incorporados: Alocação de Recursos, Métricas de Governança, Gestão de Mudanças e Evolução, e Mecanismos/Padrões de Interoperabilidade.)*

A análise dessas sugestões forneceu um feedback qualitativo que ajuda a interpretar os resultados moderados de RQ2 e RQ3, além de oferecer um roteiro claro para o aprimoramento do modelo: (i) Revisão das Propriedades de SoS (RQ2 e RQ3); (ii) Rigor Estrutural (RQ3); (iii) Expansão do Escopo de Governança (RQ3).

- i. *Revisão das Propriedades de SoS (RQ2 e RQ3)*. Uma crítica fundamental questionou a representação da Independência Operacional (OI) e da Independência Gerencial (MI). Especialistas apontaram que ambas são intrínsecas a cada constituinte, e não meramente relacionamentos descritos entre eles e as organizações. Essa observação sugere a necessidade de ajustar a semântica do modelo para garantir que ele reflita com precisão que essas são propriedades essenciais da classe CS, reforçando a sintaxe abstrata e menos ambígua. Outra sugestão pertinente está relacionada ao fato de que tentar representar todos os tipos e características de SoS em um único modelo, pode introduzir imprecisões, impactando a precisão semântica.
- ii. *Rigor Estrutural (RQ3)*. Diversas sugestões focaram em aumentar o rigor sintático (M4) e a completitude (M2). Foi solicitada uma descrição mais completa de cada elemento e relacionamento para que o modelo possa ser considerado íntegro e robusto. Destacou-se a necessidade de definir restrições e cardinalidades claras, o que é essencial para garantir a aderência às regras da UML. A adição de atributos mínimos (como proprietário, versão, entradas/saídas) às classes principais (Governança, Modelo de Processo, Requisito, Sistema Constituinte) foi sugerida, visando aumentar a completitude (M2) dos elementos do modelo.
- iii. *Expansão do Escopo de Governança (RQ3)*. Foram apresentadas sugestões para expandir a abrangência (M1) do modelo, incorporando outros conceitos relevantes de Governança. Isso incluiu a melhoria da integração dos *stakeholders*, reforçando

o relacionamento já estabelecido entre as classes Responsabilidade e *Stakeholder*. Conceitos como Alocação de Recursos, Métricas de Governança, Gestão de Mudanças e Evolução, e Mecanismos/Padrões de Interoperabilidade foram sugeridos para incorporação, justificados pelo fato de que esses elementos são cruciais para a SoSG, que lida com alinhamento estratégico, alocação de recursos e adaptação a mudanças em ambientes complexos.

Em conclusão, a avaliação dos especialistas considerou que o PreSoSG se trata de um Modelo Conceitual de SoSG válido. O *feedback* qualitativo forneceu *insights* valiosos que permitiram o refinamento do modelo para aumentar sua precisão conceitual, especialmente no que diz respeito à representação das propriedades intrínsecas do SoS e à incorporação de novos elementos de governança. O modelo aprimorado é descrito em detalhes na próxima subseção.

4.3.4 Modelo de SoSG Aprimorado

O PreSoSG foi subsequentemente alterado para incorporar as sugestões, resultando no modelo aprimorado (Figura 4.10). As classes *Mudança*, *Métrica*, no Pacote de Governança, e *Interoperabilidade*, no Pacote SoS, foram adicionadas ao modelo. As classes *Governança*, *Processo*, *Modelos de Processos*, *Requisitos* e *Sistemas Constituintes* receberam atributos. As cardinalidades da classe *Stakeholder* foram ajustadas.

No Pacote Governança, a principal evolução foi a introdução das classes *Mudança* e *Métrica*, que permitem ao modelo gerenciar explicitamente a evolução do SoS e monitorar o desempenho por meio de indicadores. No Pacote SoS, o aprimoramento mais relevante foi a inclusão da classe *Interoperabilidade*, vinculada diretamente à classe *Sistemas-de-Sistemas* (SoS), atendendo à necessidade de modelar os mecanismos e padrões que viabilizam a comunicação técnica entre os membros. Além disso, a semântica das propriedades de independência foi ajustada: IO e IG deixaram de ser representadas apenas como relacionamentos externos para serem tratadas como características intrínsecas vinculadas à classe *Sistemas Constituintes* (CS). Essa mudança de sintaxe abstrata assegura que a autonomia dos sistemas seja reconhecida como um requisito mandatório que a autoridade de governança deve preservar.

Para elevar o rigor técnico e a natureza prescritiva do artefato, foram incorporados atributos às classes centrais. A classe *Governança* recebeu atributos para definir o direcionamento estratégico, mecanismos de controle, foco em riscos, requisitos de conformidade e alocação de recursos. De forma análoga, as classes *Processo*, *Modelos de Processos*, *Requisitos* e *Sistemas Constituintes* (CS) passaram a contar com campos para identificação de versão, proprietário (owner) e justificativas. Por fim, as cardinalidades da

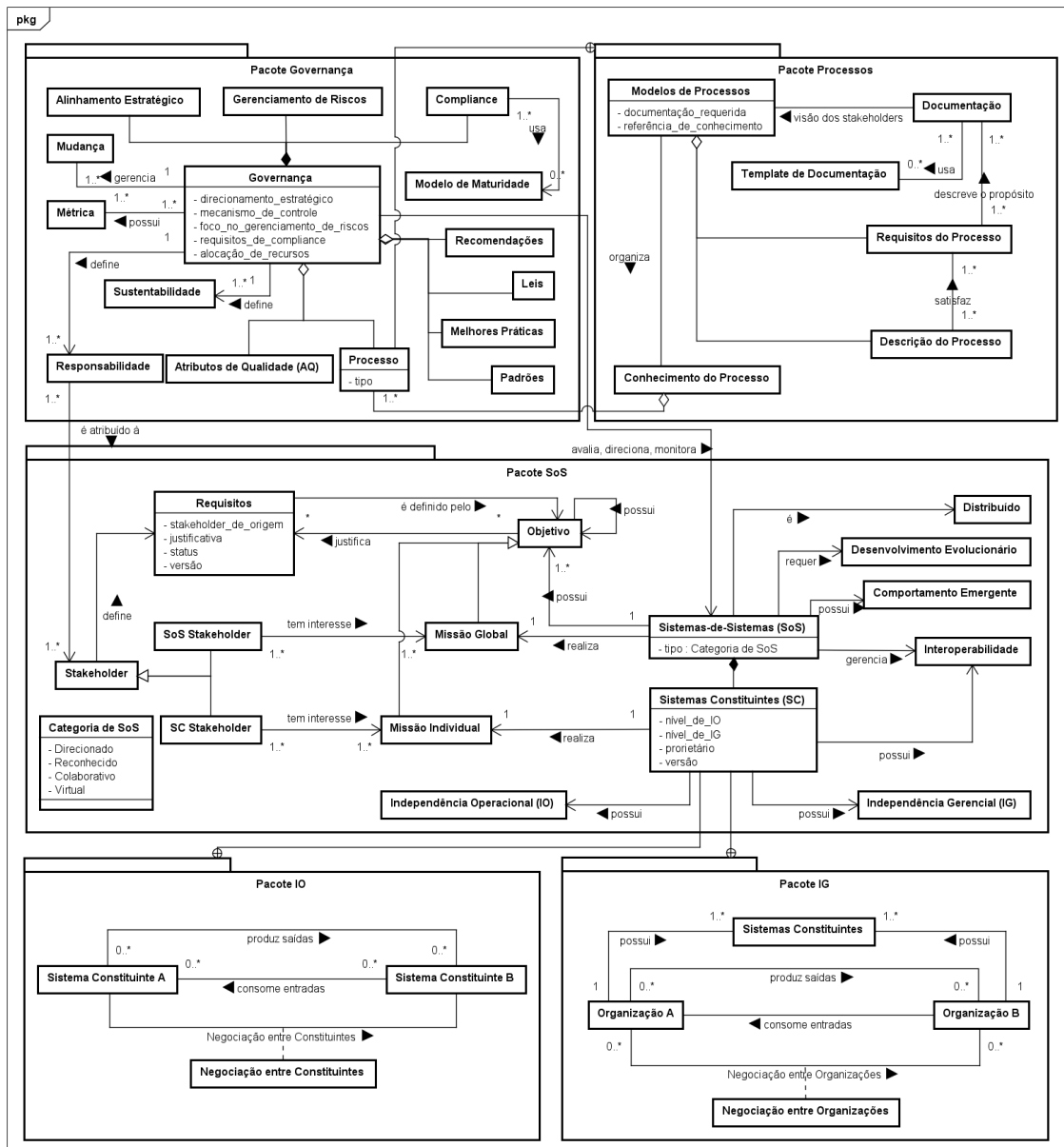


Figura 4.10: PreSoSG Aprimorado.

classe *Stakeholder* foram ajustadas para fortalecer a integração das partes interessadas, assegurando a atribuição de responsabilidades.

4.4 Limitações

A primeira limitação significativa desta etapa refere-se ao tamanho reduzido da amostra e à natureza do processo de amostragem utilizado para a avaliação do modelo. Embora o perfil dos seis participantes tenha sido considerado adequado, composto por doutores e mestres com vasta experiência acadêmica e conhecimento avançado em Governança e SoS, o número absoluto de respondentes é insuficiente para garantir a viabilidade

externa da pesquisa. A adoção de técnicas de amostragem acidental e *snowball*, implica que os resultados e as percepções coletadas não podem ser generalizados para toda a comunidade científica da área, restringindo as conclusões ao grupo específico consultado. Essa restrição metodológica é uma ameaça à abrangência do artefato, pois diferentes escolas de pensamento ou contextos organizacionais podem oferecer perspectivas distintas sobre a estrutura de SoSG proposta.

A segunda limitação reside na percepção de completitude e no rigor semântico do PreSoSG preliminar. Embora o modelo tenha sido reconhecido como uma representação válida de SoSG por 83,3% dos especialistas, a métrica de completitude (M2) e a representação de conceitos essenciais de SoS obtiveram uma taxa de concordância moderada de apenas 66,7%. Essa divergência, evidenciada pela postura neutra de parte dos avaliadores, sinaliza uma incerteza técnica sobre se o modelo continha originalmente os atributos e relacionamentos necessários para operar como um guia prescritivo. O *feedback* qualitativo reforçou que a falta de atributos mínimos em classes centrais e a ausência de restrições formais e cardinalidades claras prejudicavam a integridade e o robustez do modelo frente às regras estritas da notação UML.

Por fim, deve-se considerar a necessidade de ajustes na representação das propriedades intrínsecas dos CS. A avaliação identificou uma falha na modelagem inicial da IO e IG, que foram interpretadas por especialistas como propriedades que não deveriam ser descritas apenas como relacionamentos externos, mas como características inerentes à classe CS. Essa imprecisão semântica inicial exigiu uma revisão na sintaxe abstrata do modelo para garantir que a autonomia dos sistemas não fosse subestimada pela autoridade de governança. Tais limitações demonstram que, embora o PreSoSG sirva como uma base sólida, sua transição para um artefato aprimorado, plenamente prescritivo, demandou refinamentos iterativos para superar ambiguidades estruturais e elevar o rigor técnico exigido para o domínio de SoSG.

4.5 Trabalhos Relacionados

Foram encontrados estudos com propostas semelhante à apresentada neste capítulo, especialmente relacionadas a propostas de *frameworks*. Porém não foram encontradas propostas de modelos. Vargas [184] apresenta uma tese de doutorado (2024) sobre o conceito de Gerenciamento de SoS, que é definido como uma atividade complexa que combina a gestão de projetos, negócios e engenharia para lidar com múltiplos sistemas independentes que trabalham em direção a um objetivo comum. O estudo propõe o *framework* HomeSoS, que busca superar as limitações das abordagens tradicionais de gestão, geralmente centralizadas e lineares, que falham ao não considerar a autonomia dos CSs, suas interdependências e as propriedades emergentes. Apesar do conceito de Geren-

ciamento de SoS ser diferente de SoSG, este trabalho pode ser considerado fortemente relacionado, uma vez que compartilham o mesmo objeto de estudo (SoS), a mesma base metodológica (DSR) e por abordarem desafios complementares (gerenciamento e governança) dentro do domínio de SoS. Enquanto a tese de Vargas foca no gerenciamento, definido como a execução e organização de atividades para atingir objetivos, esta tese foca na governança, que estabelece as diretrizes, regras e o direcionamento estratégico. Esses conceitos, embora distintos, são interdependentes para o sucesso de um SoS.

Embora aborde um escopo diferente do presente estudo, o trabalho de Mogahed e Mansouri [117] foi considerado altamente relevante, tanto por sua atualidade (2025), que destaca a importância do tema, quanto por fornecer uma Revisão de Escopo Abrangente (CSR, *Comprehensive Scoping Review*) [85] de estudos sobre *frameworks* de SoS. Esta revisão selecionou 45 estudos, resultando na identificação de 37 *frameworks* distintos que possuem relação com este capítulo. A justificativa para esse foco é que o paradigma de SoSG é considerado promissor para enfrentar os desafios complexos e multifacetados inerentes aos SoS no domínio da saúde. Contrário à suposição de que tais propostas são estritamente teóricas, esta revisão indica a existência de *frameworks* que foram avaliados em situações do mundo real, como o OntoSoS.QM.Gov [143], que integra múltiplos modelos, como políticas e processos, para a governança da qualidade. Apesar de não representarem modelos em seu sentido estrito, essas propostas estão mais diretamente relacionadas aos objetivos deste capítulo.

Rudolph et al. [152] propõem um *SoSE Process Framework* adaptado para sistemas de defesa militar (Força Aérea dos EUA), especialmente em cenários de SoS Direcionados e Reconhecidos, o qual incorpora quatro processos centrais: arquitetura e análise, teste e avaliação, gestão e governança. Lee et al. [102] introduzem um *framework* de governança para sistemas de transporte em Cidades Inteligentes, utilizando o sistema de transporte terrestre de Singapura como estudo de caso para ilustrar a aplicação de uma SoSG eficaz. Da mesma forma, Payne et al. [138] propõem um *framework* conceitual para o desenvolvimento de painéis de governança em Cidades Inteligentes, aplicando-o em um estudo de caso sobre a iniciativa de iluminação pública inteligente de Singapura. Vaneman e Jaskot [182] desenvolveram um *framework* baseado em critérios para estabelecer a SoSG, correlacionando atributos de boa governança com tipos e características de SoS (como autonomia, pertencimento, conectividade, diversidade e emergência). Embora os conceitos apresentados sejam considerados teóricos, o trabalho fornece um exemplo de governança aplicada ao contexto da Marinha dos Estados Unidos da América.

4.6 Considerações Finais

Considerando que a SoSG é reconhecida como um paradigma essencial, mas a literatura relacionada tem se concentrado predominantemente em *frameworks*, não contemplando a proposição de modelos. Este capítulo apresentou o desenvolvimento e a fundamentação de uma proposta de um Modelo Conceitual de SoSG prescritivo, o PreSoSG, visando suprir a carência de representações para sistematização da área, e definições estritas em um domínio tradicionalmente dominado por *frameworks* descritivos. O percurso percorrido buscou demonstrar que a integração das funções de governança às propriedades intrínsecas de SoS pode ser estruturada de forma prescritiva e sistematizada para gerir a complexidade de ambientes tecnológicos interconectados. Para tanto, conduziu-se uma pesquisa descritiva utilizando um método de quatro etapas iterativas inspirado em DSR: identificação do problema, revisão da literatura para eliciação de conceitos, criação do modelo conceitual e sua subsequente avaliação e aprimoramento. Essa abordagem garantiu que o modelo proposto fosse desenvolvido como uma solução rigorosa para a dificuldade de operacionalização da governança em ambientes de SoS.

A proposta foi organizada semanticamente em cinco pacotes principais (SoS, Governança, Processos, IO e IG), facilitando o entendimento dos papéis e da comunicação macro entre os elementos. A utilização do Diagrama de Classes da UML para a especificação do modelo assegurou o rigor sintático necessário para representação em ambientes orientados a modelos (*Model Driven*), superando as deficiências de representações meramente gráficas. O modelo foi considerado válido ao integrar as funções clássicas de governança (avaliar, direcionar e monitorar) com as propriedades de um SoS, especificamente as independências operacional e gerencial. Essa unificação estabelece que a SoSG deve definir processos obrigatórios que respeitem a autonomia dos CSs, garantindo que o metassistema atinja seus objetivos globais sem comprometer a existência independente de seus membros.

Por fim, o modelo foi submetido a uma pesquisa de opinião com pesquisadores e doutores seniores, obtendo uma taxa de concordância de 83,3% para ser considerado um Modelo Conceitual de SoSG válido. Embora a completude e a representação de SoS tenham obtido concordância moderada (66,7%), o *feedback* qualitativo foi essencial para o refinamento do artefato, resultando em uma versão aprimorada do modelo. As evidências e avaliações apresentadas confirmaram que o modelo proposto cumpre o objetivo de cobrir a lacuna de sistematização da área, fornecendo uma base sólida e organizada que representa a complexidade e os papéis de comunicação exigidos pela SoSG.

4.6.1 Diretrizes para Operacionalização em Outros Domínios

O PreSoSG foi concebido como um modelo genérico, fundamentado nas propriedades de SoS e nas funções de governança. Para que engenheiros e gestores possam aplicar o PreSoSG em domínios distintos do judiciário de forma sistemática, propõe-se o seguinte roteiro de aplicação: Caracterização do Domínio; Identificação do Referencial Normativo; Mapeamento semântico via Interfaces; Instanciação por Realização UML; Ciclo de Monitoramento (EDM).

- i. *Caracterização do Domínio*. Identificar o conjunto de sistemas independentes e validar se o ambiente opera de fato como um SoS, confirmando a presença de Independência Operacional e Gerencial.
- ii. *Identificação do Referencial Normativo*. Mapear leis, padrões técnicos e regulamentos específicos do novo domínio (ex: protocolos de segurança em Cidades Inteligentes ou normas de privacidade em Saúde).
- iii. *Mapeamento semântico via Interfaces*. Vincular cada requisito identificado às interfaces genéricas do PreSoSG (pacotes de Governança, Processos e SoS). Os itens em “branco” no modelo original servem como a infraestrutura conceitual mandatória para qualquer cenário.
- iv. *Instanciação por Realização UML*. Criar classes de implementação que “realizam” as interfaces teóricas, transformando exigências abstratas em elementos técnicos rastreáveis e auditáveis.
- v. *Ciclo de Monitoramento (EDM)*. Estabelecer indicadores de desempenho vinculados às classes de “Métrica” e “Mudança” para avaliar, direcionar e monitorar a evolução do SoS continuamente.

Esta abordagem modular permite que a complexidade de qualquer ambiente seja organizada de forma adaptativa, uma vez que o gestor não precisa reinventar a estrutura de governança, mas apenas seguir os passos definidos em seu domínio, nas interfaces já validadas do modelo.

4.6.2 Contribuições

O presente capítulo ofereceu as seguintes contribuições científicas, teóricas e práticas, para a área de SoSG: Sistematização da área de SoSG; Especificação de Modelo com Rigor e Precisão Estrutural; Unificação de Conceitos Essenciais de SoS e Governança; Integração de Múltiplos Modelos; Geração de Conhecimento Prescritivo.

- i. *Sistematização da área de SoSG*. Propondo um modelo conceitual (PreSoSG) em substituição aos tradicionais *frameworks* descritivos, o capítulo introduz o nível

maior de sistematização e rigor necessário para a operacionalização do domínio. Suprindo uma lacuna crítica amplamente identificada na literatura, esta sistematização permite que a área avance de simples orientações metodológicas para uma estrutura com regras de conduta e diretrizes mais rigorosas.

- ii. *Especificação de Modelo com Rigor e Precisão Estrutural*. Utilizando o Diagrama de Classes da UML, o trabalho fornece uma sintaxe abstrata que estabelece definições estritas e menos ambíguas para os elementos de governança e suas interações. Viabilizando a representação em ambientes orientados a modelos (MDE), essa precisão estrutural visa garantir que o modelo possa ser integrado a ferramentas computacionais, facilitando a automação de processos de governança.
- iii. *Unificação de Conceitos Essenciais de SoS e Governança* Integrando de forma explícita as características intrínsecas dos CSs, especificamente OI e MI, com as funções clássicas de governança de avaliar, direcionar e monitorar (EDM). Assegurando a harmonia entre a autoridade central e a autonomia dos membros, essa unificação permite que o metassistema atinja objetivos globais sem comprometer a existência independente dos sistemas que o compõem.
- iv. *Integração de Múltiplos Modelos*. Harmonizando submodelos de SoS, Governança, Processos e Independências em uma arquitetura única e coesa, o capítulo demonstra como gerir a complexidade multiorganizacional de forma organizada. Proporcionando uma semântica compreensível por meio do agrupamento em pacotes, essa integração facilita a visualização dos papéis de comunicação e das responsabilidades entre os diversos stakeholders do ambiente.
- v. *Geração de Conhecimento Prescritivo*. Estabelecendo diretrizes formais para mitigar desafios de alinhamento estratégico e gestão de riscos, a tese expande a base de conhecimento científico através de um artefato considerado válido por especialistas. Fundamentando a evolução para futuros metamodelos e modelos de maturidade, o trabalho pavimenta o caminho para que a SoSG deixe de ser uma abstração e se torne uma ferramenta de gestão auditável.

4.6.3 Trabalhos Futuros

Com base nos refinamentos efetuados após o feedback dos especialistas e nos resultados da avaliação proposta apresentada, as perspectivas de trabalhos futuros para o PreSoSG são detalhadas a seguir: Evolução para um Metamodelo; Desenvolvimento de Modelos de Maturidade; Integração de Novas Perspectivas de Governança; Aprimoramento da Capacidade Semântica.

- i. *Desenvolvimento de Métricas de Impacto e Indicadores de Governança*. Como desdobramento necessário para a maturidade do domínio, propõe-se a elaboração de

métricas voltadas à mensuração do impacto organizacional resultante da implementação do PreSoSG. Enquanto a presente tese focou na percepção de especialistas quanto à validade técnica, estrutural e semântica do modelo, investigações futuras devem focar na criação de indicadores de governança auditáveis e pragmáticos. Tais indicadores permitiriam avaliar, de forma quantitativa e qualitativa, como a adoção de um modelo prescritivo melhora a eficiência na prestação jurisdicional, reduz riscos de descoordenação entre sistemas independentes.

- ii. *Evolução para um Metamodelo.* Refinar o atual PreSoSG, que lida com conceitos de alto nível, para uma estrutura de metamodelo com rigor de representação superior. O objetivo é definir metaclasses, atributos e relacionamentos de forma estrita para facilitar a integração do modelo em ferramentas computacionais e ambientes de Engenharia Baseada em Modelos (MDE).
- iii. *Desenvolvimento de Modelos de Maturidade.* Criar instrumentos práticos de avaliação partindo do conceito de conformidade já previsto no pacote de governança. Pretende-se instrumentalizar a medição da eficácia das funções de controle, permitindo que as organizações diagnostiquem falhas de alinhamento e aumentem sistematicamente o desempenho de seus ambientes complexos.
- iv. *Integração de Novas Perspectivas de Governança.* Expandir o escopo do modelo para incluir dimensões que transcendam o alinhamento puramente técnico e operacional. A meta é incorporar o conceito de sustentabilidade em seus pilares ambiental, social e econômico, garantindo que a SoSG promova princípios éticos e de viabilidade do ambiente a longo prazo.
- v. *Aprimoramento da Capacidade Semântica.* Evoluir o rigor sintático e a completude do artefato através da incorporação de detalhes arquiteturais e comportamentais mais profundos. Busca-se mitigar as incertezas identificadas sobre a integridade do modelo ao adicionar atributos fundamentais às classes centrais e estabelecer restrições formais e cardinalidades claras sob a notação UML.

Caracterização de um Conjunto de Sistemas de Informação de um Tribunal de Justiça Estadual como um Sistema-de-Sistemas e Instanciação do Modelo Proposto

Um Sistema de Informação (SI) é definido como um conjunto de componentes inter-relacionados projetados para coletar, processar, armazenar e distribuir informações para apoiar a tomada de decisão organizacional, informar ações e resolver problemas. Um SI compreende tipicamente uma combinação de pessoas, hardware, software, redes, dados, processos, políticas e procedimentos responsáveis por armazenar, recuperar, transformar e disseminar informações [114]. O conceito de SoS emerge nesse contexto, motivado primordialmente pela necessidade estratégica de as organizações formarem alianças e alcançarem benefícios mútuos. Quando essas alianças se estendem aos seus SI, elas formam um arranjo colaborativo de sistemas, referido como um SoS [50].

Neste contexto, o objetivo deste capítulo é **modelar e representar um conjunto de SI de um tribunal de justiça estadual como um SoS, e instanciar o modelo proposto no Capítulo 4 neste ambiente**. A principal justificativa para essa caracterização, neste trabalho, é **a possibilidade de instanciar o modelo proposto em um ambiente real de SoS, demonstrando a sua viabilidade**. Além disso, sob uma perspectiva arquitetural, a visão de SoS oferece uma visão mais abrangente e dinâmica, otimizando o planejamento e o desenvolvimento de SI além das fronteiras organizacionais [155].

Para tanto, foi desenvolvido um artefato que modela essa realidade, capturando os aspectos mais críticos dos SI do tribunal no nível de abstração de SoS. Esse esforço, para esta tese, é crucial porque o campo de SoS sofre atualmente com a carência de representações conceituais e modelos precisos que possam servir como base sólida para pesquisas ou avaliações [51]. O presente capítulo oferece diversas contribuições científicas, teóricas e práticas, para a área: (i) Proposição de um método de caracterização de SoS que seja replicável; (ii) Caracterização de um ambiente jurídico como um SoS;

(iii) Proposição de um artefato de representação de SoS; (iv) Referência para evolução de modelos semânticos; (v) Instanciação do modelo de SoSG em um ambiente real de SoS.

Para alcançar esse objetivo, identificando especificamente os constituintes principais do domínio e suas interdependências, foi conduzida uma pesquisa de opinião para coletar percepções de profissionais envolvidos no desenvolvimento, manutenção, suporte e gestão dos SI sobre essas propriedades de SoS. Os SI foram rigorosamente analisados frente às cinco principais características de SoS: independência operacional, independência gerencial, distribuição, desenvolvimento evolutivo e comportamento emergente. Esta análise confirmou que os SI do tribunal podem, de fato, ser caracterizados como um SoS, e um artefato foi subsequentemente desenvolvido para representar visualmente essa estrutura complexa. Em seguida o modelo foi instanciado neste ambiente.

O restante deste capítulo está organizado da seguinte forma: a Seção 5.1 apresenta o método de pesquisa; a Seção 5.2 detalha a condução do estudo, incluindo a caracterização do domínio, execução da pesquisa de opinião, resultados e discussão, caracterização como SoS, artefato proposto, limitações e oportunidades e trabalhos relacionados; A Seção 5.3 apresenta a instanciação do modelo proposto no ambiente de SoS caracterizado. Por fim, a Seção 5.6 apresenta as considerações finais, contribuições e perspectivas para trabalhos futuros.

5.1 Método de Pesquisa

Conforme descrito no Capítulo 3 o método de pesquisa utilizado para construção do artefato de caracterização proposto foi baseado em *Design Science Research (DSR)*, sendo conduzido em iterações e inclui seis etapas: identificação do problema e motivação, definição dos objetivos para uma solução, *design* e desenvolvimento, avaliação, demonstração e comunicação. A aplicação da DSR foi adaptada e apenas parte das etapas foi executada, conforme ilustrado na Figura 5.1.

Diferentemente da aplicação tradicional da DSR, em que o artefato é desenvolvido após a definição do problema e dos objetivos, e somente então avaliado, neste capítulo o domínio foi primeiro caracterizado como um SoS. Posteriormente, o artefato foi proposto para representar essa realidade, tornando-se uma das etapas finais do método. A sequência do processo foi a seguinte: o problema foi identificado na primeira etapa (1). Em seguida, o problema foi analisado e caracterizado por meio de um levantamento de dados (2), seguido pelos resultados e discussão (4). Em paralelo, foi realizada a revisão da literatura (3). Subsequentemente, o ambiente foi caracterizado como um SoS (5), seguido pela criação do artefato (6). Por fim, o PreSoSG, proposto no Capítulo 4, é instanciado no ambiente de caracterizado como um SoS (7).

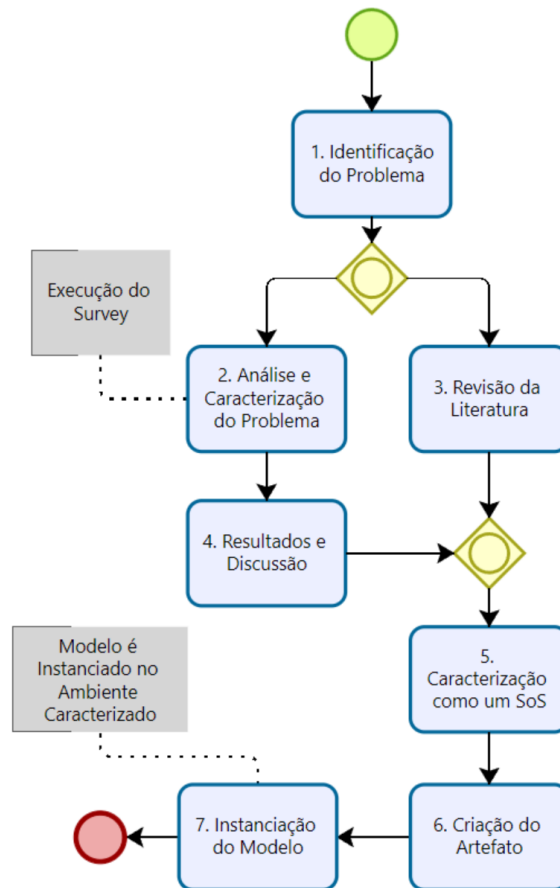


Figura 5.1: Método de Pesquisa.

5.2 Condução do Estudo

Esta seção apresenta a condução do estudo por meio da caracterização do problema, execução da pesquisa de opinião, apresentação dos resultados e discussão, caracterização do ambiente como um SoS via argumentação narrativa e apresentação do artefato proposto para representação do ambiente de SoS caracterizado.

5.2.1 Caracterização do Problema

A caracterização do problema apresentado neste artigo foi conduzida no contexto do Tribunal de Justiça do Estado de Goiás (TJGO), um tribunal de justiça brasileiro, que faz parte do Poder Judiciário, cuja principal entidade é o Conselho Nacional de Justiça (CNJ), que é um órgão criado pela Emenda Constitucional nº 45¹, de 2004, cuja principal função é aperfeiçoar o trabalho do sistema judiciário, principalmente no que diz respeito ao controle e à transparência administrativa e processual. Sua missão é trabalhar para que

¹https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/emendas/emc/emc45.htm, acessado em Novembro/2024.

a Justiça seja mais rápida e eficaz, resolvendo os processos em tempo hábil, promover a divulgação de informações sobre o funcionamento do Judiciário, tornando os processos mais acessíveis à população, avaliar o desempenho dos juízes e tribunais, buscando garantir a qualidade dos serviços prestados e mediar conflitos entre os membros do Poder Judiciário, e entre este e outros poderes. Na prática as principais funções do CNJ são de acompanhar o desempenho dos tribunais e dos juízes, verificando se estão cumprindo as metas estabelecidas, analisar dados estatísticos sobre a atividade judiciária, como a duração dos processos e o número de decisões proferidas, fazer sugestões para melhorar o funcionamento do Judiciário, como a implementação de novas tecnologias ou a alteração de normas, receber e investigar denúncias contra juízes e servidores do judiciário e aplicar penalidades aos magistrados que cometerem irregularidades.

O CNJ também define a estrutura do Poder Judiciário Brasileiro, que atualmente é organizado em dois segmentos principais: (i) Justiça Comum: estadual, composta por juízes de direito estaduais, atua na primeira instância, resolvendo a maioria dos casos, e federal, que tem competência para julgar causas relacionadas à União, às suas autarquias e às empresas públicas federais; (ii) Justiça Especializada: do trabalho, que decide conflitos entre empregados e empregadores, eleitoral, que organiza e fiscaliza as eleições, além de julgar crimes eleitorais e militar, que julga crimes militares cometidos por membros das Forças Armadas. Além disso existe um estrutura hierárquica composta por Supremo Tribunal Federal (STF), que é órgão máximo do Poder Judiciário, responsável pela guarda da Constituição e o Superior Tribunal de Justiça (STJ), que corrige e uniformiza a interpretação da legislação infraconstitucional. Por fim, disponibiliza uma plataforma que oferece um conjunto de serviços por meio de SI, chamada de Plataforma Digital do Poder Judiciário Brasileiro (PDPJ-Br)², cujo principal objetivo é incentivar o desenvolvimento colaborativo entre os tribunais, preservando os sistemas públicos em produção, mas consolidando pragmaticamente a política para a gestão e expansão de seu principal sistema, o Processo Judicial Eletrônico (PJe), que pode ser usado por qualquer tribunal. Apesar de existir a disponibilidade deste sistema único, a maioria dos tribunais possui seus sistemas próprios, que integram tanto com os sistemas do CNJ, quanto com outros sistemas de diferentes órgãos.

Neste contexto de organização judiciária definida pelo CNJ, o tribunal considerado para elaboração deste artigo é de porte médio (medido em função do volume de processos, número de comarcas e servidores, orçamento e tamanho da população do estado), nível estadual (é responsável por julgar, em segunda instância, as causas decididas pelos juízes de primeiro grau nas comarcas de seu estado), e segundo dados dados do

²<https://www.cnj.jus.br/tecnologia-da-informacao-e-comunicacao/plataforma-digital-do-poder-judiciario-brasileiro-pdpj-br/>, acessado em Janeiro/2026.

Painel de Estatísticas do Poder Judiciário³, anualmente atende em média cerca de 900 mil novos processos, julga mais de um 1 milhão de processos, possui 438 magistrados, 7.503 servidores efetivos, uma receita anual de cerca de 3 bilhões de reais, e possui atualmente 62 serviços na forma de SI (detalhados na Seção 5.2.5). Visando então entender as características destes sistemas foi realizada uma pesquisa de opinião, cuja execução é detalhada a seguir.

5.2.2 Execução da Pesquisa de Opinião

Visando avaliar se o conjunto de SI do TJGO pode ser considerado um SoS, foi projetada uma pesquisa de opinião com um questionário correspondente, detalhado no Apêndice B, definindo as perguntas com base nas cinco características centrais de SoS. O formulário é estruturado a partir de três perguntas demográficas de múltipla escolha, seis perguntas relacionadas ao objetivo da pesquisa e uma pergunta aberta para contribuições.

O objetivo principal é responder à seguinte Questão de Pesquisa (QP): *Os SI do Tribunal podem ser considerados um SoS?* Confirmar esta hipótese é crítico, pois exige tratar o ambiente de forma diferenciada, abordando questões específicas de SoS, como a interação entre constituintes e a complexidade, além de reconhecê-lo como um ambiente do mundo real com potencial para avaliação de comportamento de SoS.

O público-alvo compreendeu uma amostra de 100 profissionais selecionados, servidores da área de Tecnologia da Informação do tribunal, abrangendo vários níveis de atividade, de programadores e analistas a diretores de área. Esse perfil foi escolhido porque esses profissionais possuem *expertise* em TI e conhecimento aprofundado dos SI fornecidos, permitindo-lhes oferecer informações detalhadas, uma vez que vivenciam a operação dos 62 serviços judiciais, sua experiência prática permite uma avaliação fidedigna das propriedades dos SI, mesmo que o termo teórico SoS não lhes fosse familiar. A execução envolveu o envio do formulário por e-mail ao público-alvo, contendo as seguintes perguntas (perguntas fechadas-CEQ e perguntas abertas-OEQ):

- **CEQ01:** Qual seu tempo de experiência na área de Tecnologia da Informação?
- **CEQ02:** Sua função atual está mais relacionada a qual atividade?
- **CEQ03:** Qual seu nível mais alto de formação?
- **CEQ04:** Você conhece o conceito de Sistemas-de-Sistemas (SoS)?
- **CEQ05:** Você considera que a maioria dos Sistemas de Informação mantidos pelo tribunal possuem independência operacional (os sistemas constituintes de um sistema maior operam de forma autônoma e independente, mesmo que integrados a outros sistemas)?

³<https://justica-em-numeros.cnj.jus.br/painel-estatisticas/>, acessado em Novembro/2024.

- **CEQ06:** Você considera que a maioria dos Sistemas de Informação mantidos pelo tribunal possuem independência gerencial (os sistemas constituintes de um sistema maior operam e tomam decisões de forma autônoma, sem interferência direta ou excessiva de outro sistema controlador central)?
- **CEQ07:** Você considera que existem Sistemas de Informação mantidos pelo tribunal que estão distribuídos geograficamente (os sistemas constituintes de um sistema maior estão fisicamente dispersos)?
- **CEQ08:** Você considera que a maioria os Sistemas de Informação mantidos pelo tribunal são desenvolvidos de forma evolucionária (os sistemas se modificam e se aperfeiçoam ao longo do tempo, em resposta às mudanças no ambiente, novas necessidades ou avanços tecnológicos)?
- **CEQ02:** Você considera que a maioria os Sistemas de Informação mantidos pelo tribunal possuem comportamento emergente (se refere a propriedades e comportamentos dos sistemas como um todo que não podem ser diretamente atribuídos às características individuais dos seus constituintes, mas sim às interações complexas entre eles)?
- **OEQ01:** Caso queira acrescentar algum comentário sobre o questionário utilize esta caixa de texto (resposta não obrigatória).

A pesquisa de opinião foi realizada no período de 07/11/2024 a 11/11/2024. Dos 100 profissionais selecionados, 27 responderam, obtendo-se assim um percentual de respostas de 27% da amostra, que pode ser considerado adequado para estudos desse tipo [128].

5.2.3 Resultados e Discussão

As questões de pesquisa 1, 2, 3 tinham objetivo de avaliar os **perfis dos entrevistados**. Em relação ao tempo de experiência na área de TI (44,4%) possui pelo menos mais de vinte anos, seguido por profissionais entre dezesseis e vinte anos, o que em tese demonstra se tratar de participantes com alto grau de conhecimento. Já em relação à função que desempenham na área de TI, a maioria (44,4%) ocupa postos de gestão, gerenciamento ou coordenação, seguidos por profissionais das áreas de programação, infraestrutura e banco de dados.

A participação de grande número de profissionais em cargos de liderança corrobora com o fato de serem profissionais experientes, o que possivelmente pode levar ao entendimento que se tratam de pessoas com uma visão mais abrangente sobre a área de sistemas, uma vez que para chegar a estes postos provavelmente passaram por várias etapas profissionais. Já em relação à formação, a maior parte (70,3%) dos entrevistados possui grau de especialista ou mestre, o que é coerente com o resultado das duas primeiras

questões, tanto em relação ao tempo de experiência, quanto ao cargo ocupado. Pode-se concluir então que se trata de um público com perfil adequado ao objetivo da pesquisa. As Figuras 5.2, 5.3 e 5.4 detalham os perfis dos entrevistados.

Qual seu **tempo de experiência** da área de Tecnologia da Informação?

27 respostas

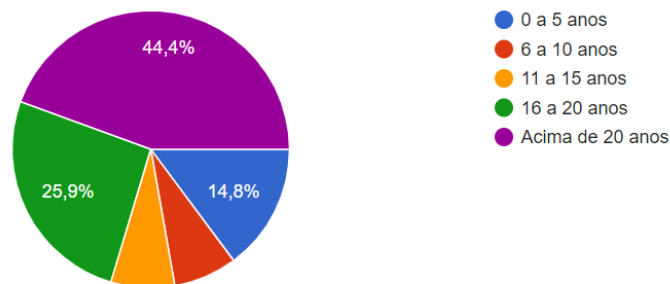


Figura 5.2: *Questão de Pesquisa 1.*

Sua função atual está **mais** relacionada a atividades de:

27 respostas

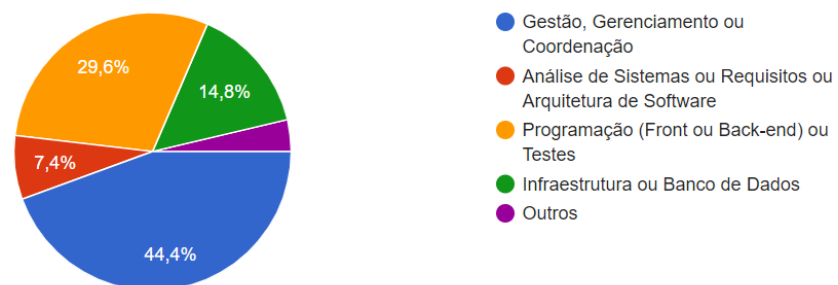


Figura 5.3: *Questão de Pesquisa 2.*

Qual seu nível **mais alto** de formação?

27 respostas

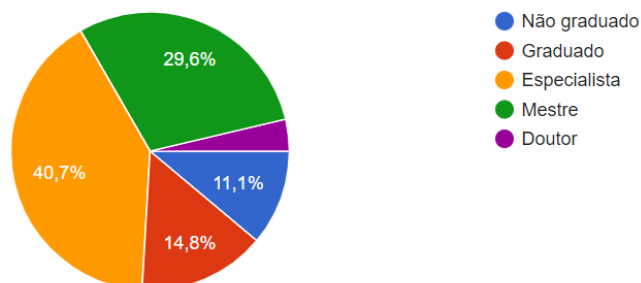


Figura 5.4: *Questão de Pesquisa 3.*

À respeito do nível de **conhecimento sobre SoS**, foi possível observar que se trata de conceito desconhecido (37,0%), ou conhecido de forma superficial (44,4%)

por parte da maioria dos profissionais pesquisados, ou seja, 81,4% dos profissionais entrevistados possuem pouco conhecimento sobre o assunto. Isso demonstra que apesar de se tratar de profissionais experientes na área de TI, possuem pouco ou nenhum conhecimento sobre SoS.

Como o objetivo da pesquisa é habilitar os sistemas do tribunal como um SoS, esse grau de desconhecimento pode ser visto, por um lado, como um ponto positivo, uma vez que diminui o viés das respostas às questões específicas sobre SoS (5, 6, 7, 8 e 9), trazendo uma visão mais realista sobre este ambiente. Por outro lado, estes profissionais podem ter certo grau de dificuldade para analisar e entender estas mesmas perguntas, e não ter o correto entendimento do que vem a ser independência operacional, gerencial ou comportamento emergente, por exemplo. Visando então facilitar o entendimento sobre o que está sendo perguntado, foi adicionada ao enunciado de cada questão do formulário uma explicação sobre o conceito abordado.

Você conhece o conceito de **Sistemas-de-Sistemas (SoS)**?

27 respostas

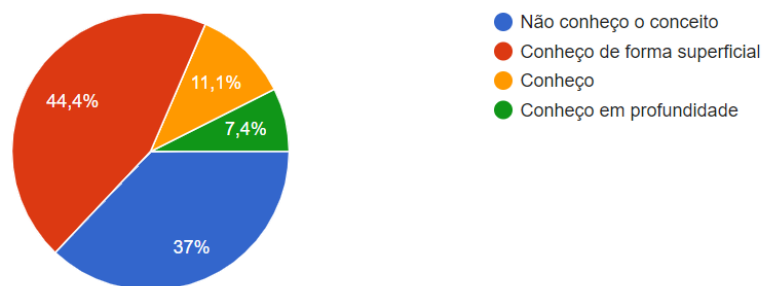


Figura 5.5: *Questão de Pesquisa 4.*

Em relação ao conceito de **independência operacional**, a maior parte dos pesquisados (48,1%) informou que concorda (33,3%) ou concorda totalmente (14,8%), porém um número considerável (44,4%) informou que discorda (40,7%). Se declararam indiferentes (que teoricamente não conhecem o assunto, logo não se sentiram à vontade responder) 7,4% dos profissionais. Essa distribuição demonstra que há certo nível de divisão na opinião dos entrevistados, sendo que um número considerável não conseguiu responder.

Pode-se supor que isso ocorreu pelo pouco conhecimento sobre SoS, ou pela dificuldade de entendimento a respeito do conceito em si. Independente disso, trata-se de uma característica determinante, em conjunto com independência gerencial, para indicar se realmente se trata de um SoS ou não. Logo, talvez seja necessário obter a visão de um público com maior conhecimento sobre SoS para uma avaliação mais precisa. Essa questão também pode ser avaliada sob a perspectiva do conhecimento técnico necessário para o entrevistado. É de se esperar que profissionais com funções

mais técnicas relacionadas a programação, arquitetura de software ou infraestrutura tenha condições de avaliar de forma mais adequada, uma vez que provavelmente conhecem as estruturas internas dos SI constituintes de forma mais profunda, ao contrário daqueles que desempenham funções mais gerenciais, que tendem a conhecer mais o negócio. Uma vez que a maioria dos que responderam ocupam estas posições, essa questão pode ter sido avaliada de forma inadequada ou sem conhecimento necessário. Mesmo diante deste cenário, pode-se considerar então que a resposta a esta questão é sim, os SI do tribunal possuem independência operacional.

Você considera que a **maioria** os Sistemas de Informação mantidos pelo tribunal possuem **independência operacional** (os sistemas componentes de um sistema maior operam de forma autônoma e independente, mesmo que integrados a outros sistemas)?

27 respostas

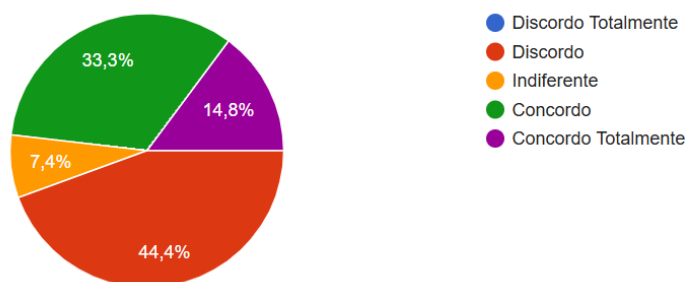


Figura 5.6: *Questão de Pesquisa 5.*

A mesma divisão de opiniões ocorreu na questão sobre o conceito de **independência gerencial**, onde a menor parte dos pesquisados (40,7%) informou que concorda (25,9%) ou concorda totalmente (14,8%), e a maioria (44,5%) informou que discorda (40,7%) ou discorda totalmente (3,8%). Se declararam indiferentes 14,8% dos profissionais. Essa distribuição também demonstra que pode haver certo nível de dificuldade na compreensão no conceito, só que dessa vez, essa dificuldade provavelmente ocorre em maior grau com os profissionais de nível mais técnico, supostamente por terem uma visão menos abrangente sobre o negócio. Pode-se supor que a utilização de um artefato que mostre os SI constituintes e suas relações auxilia nessa visualização, tornando mais clara a identificação desta característica neste ambiente. Pode-se considerar então que a resposta a esta questão é não, os SI do tribunal não possuem independência gerencial.

Sobre a questão sobre o conceito de **distribuição**, a maior parte dos pesquisados (44,4%) informou que concorda (29,6%) ou concorda totalmente (14,8%), sendo que a minoria (29,6%) informou que discorda (22,2%) ou discorda totalmente (7,4%). Se declararam indiferentes 25,9% dos profissionais. Nessa distribuição é nítida a dificuldade em opinar por parte dos entrevistados. Por se tratar de uma questão técnica, mais relacionada à infraestrutura que dá suporte ao funcionamento dos sistemas, em contrapartida às

Você considera que a **maioria** os Sistemas de Informação mantidos pelo tribunal possuem **independência gerencial** (os sistemas componentes de um sistema maior operam e tomam decisões de forma autônoma, sem interferência direta ou excessiva de outro sistema controlador central)?

27 respostas

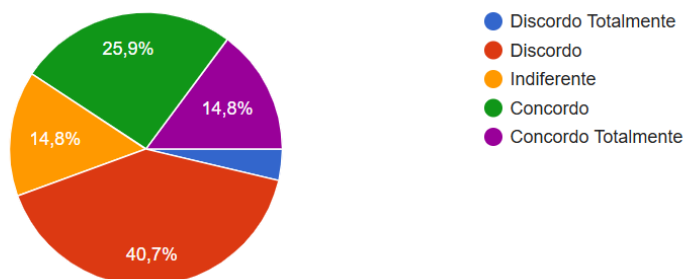


Figura 5.7: *Questão de Pesquisa 6.*

outras características, é de se esperar que profissionais relacionados a estas áreas tenham condições de responder com mais propriedade.

Porém, pode-se supor que uma visão holística dos constituintes, em particular das conexões dos SI internos com serviços fornecidos por órgãos externos ao tribunal, fornece o indício necessário para supor que há distribuição entre o constituintes, não sendo necessário portanto, conhecimento técnico sobre suas estruturas de armazenamento, com servidores de aplicações, por exemplo. O simples fato dos SI funcionarem em ambiente de nuvem também forneceria um forte indicativo desta característica.

Vale ressaltar que em ambientes de tribunais na justiça, geralmente há grande quantidade de serviços que precisam ser prestados por outros órgãos, como ministério público, instituições bancárias, secretarias de segurança pública, receita federal, dentre outros. Os serviços, na forma de SI, prestados por estes órgãos externos tornam-se então constituintes do SI do tribunal, deixando clara a característica de distribuição. Sendo assim, pode-se considerar então que a resposta a esta questão é sim, os SI do tribunal possuem distribuição.

Já em relação à questão relacionada ao conceito de **desenvolvimento evolucionário**, a maior parte dos pesquisados (74,0%) informou que concorda (44,4%) ou concorda totalmente (29,6%), a menor parte (14,9%) informou que discorda (11,1%) ou discorda totalmente (3,8%). Se declararam indiferentes apenas 11,1% dos profissionais. Essa foi a característica onde houve maior concordância na opinião dos entrevistados.

Talvez por ser uma característica mais relacionada ao comportamento dos sistemas em seu funcionamento e evolução ao longo do tempo, do que uma característica técnica. Isso quer dizer que para entender que os SI do tribunal se modificam e aperfeiçoam ao longo do tempo, basta que sejam observados sob o ponto de vista de seu usuário. Tribunais são ambientes dinâmicos, cujas regras se modificam ao longo do tempo, então é

Você considera que **existem** Sistemas de Informação mantidos pelo tribunal que estão **distribuídos geograficamente** (os sistemas componentes de um sistema maior estão fisicamente dispersos)?

27 respostas

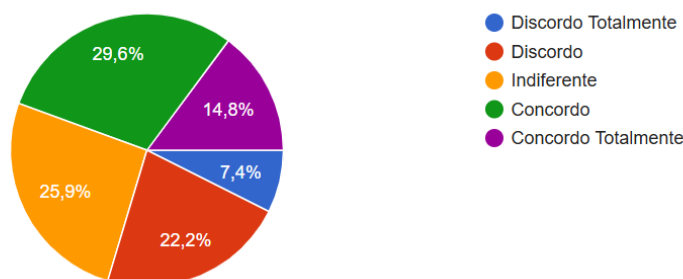


Figura 5.8: *Questão de Pesquisa 7.*

natural que o SI ali presentes acompanhem estas mudanças, sejam por mudanças no ambiente, requisitos ou tecnologias. Sendo assim, pode-se considerar então que a resposta a esta questão é sim, os SI do tribunal possuem desenvolvimento evolucionário.

Você considera que a **maioria** os Sistemas de Informação mantidos pelo tribunal são **desenvolvidos de forma evolucionária** (os sistemas se modificam e se aperfeiçoam ao longo do tempo, em resposta às mudanças no ambiente, novas necessidades ou avanços tecnológicos)?

27 respostas

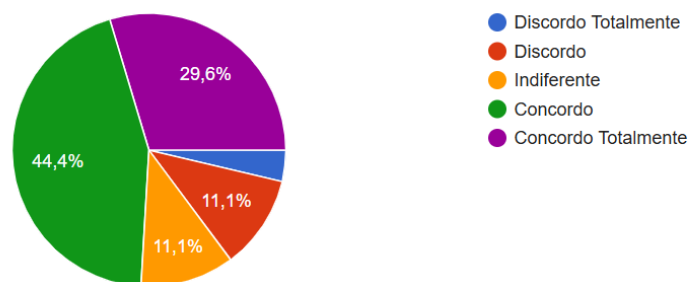


Figura 5.9: *Questão de Pesquisa 8.*

Por fim, em relação à questão relacionada ao conceito **comportamento emergente**, parte significativa dos pesquisados (44,4%) informou que concorda (33,3%) ou concorda totalmente (11,1%) e uma pequena parte (18,5%) discorda. Se declararam indiferentes 37,0% dos profissionais.

Assim como na questão relacionada à distribuição, ficou evidente a dificuldade em responder por parte dos entrevistados, sendo que a hipótese para esse fato é semelhante, ou seja, os profissionais tiveram dificuldade para entender o conceito, ou simplesmente não sabem se os SI possuem de fato essa característica, que não é tão óbvia ou simples de observar no ambiente, uma vez que requer conhecimento mais aprofundado sobre

o funcionamento dos SI constituintes como um todo. Sendo assim, seria razoável imaginar que profissionais com mais experiência tenham melhores condições de responder essa pergunta, especialmente aqueles ligados às funções mais gerenciais, que provavelmente têm mais condições de avaliar o funcionamento o SI como um todo. Sendo assim, pode-se considerar então que a resposta a esta questão é sim, os SI do tribunal possuem comportamento emergente.

Você considera que a **maioria** os Sistemas de Informação mantidos pelo tribunal possuem **comportamento emergente** (se refere a propriedades e comportamentos dos sistemas como um todo que não podem ser diretamente atribuídos às características individuais dos seus componentes, mas sim às interações complexas entre eles)?

27 respostas

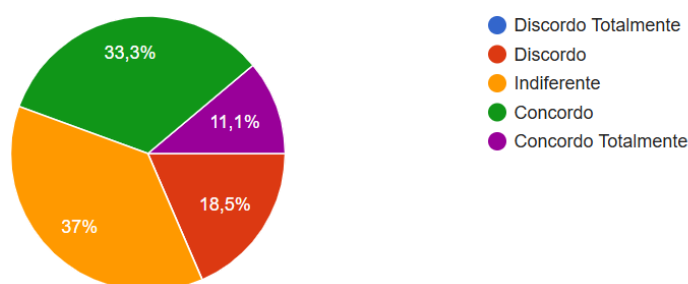


Figura 5.10: Questão de Pesquisa 9.

A Tabela 5.1 apresenta um resumo das respostas à CEQ05, CEQ06, CEQ07, CEQ08, CEQ09. Nela é possível observar que, em média, a maioria dos pesquisados concorda que os SI do tribunal possuem características de SoS. Esse resultado, entretanto, demandam interpretação criteriosa devido às limitações de conhecimento prévio dos respondentes sobre o conceito de SoS, pois pouco mais de 50% dos entrevistados concordou, sendo que grande parte discordou ou foi indiferente. Isso pode estar relacionado a vários fatores, como citados na análise de cada questão de forma individual, como desconhecimento do conceito de SoS, dificuldade para entender do que se trata cada característica ou falta de conhecimento mais profundo do SI do tribunal.

Tabela 5.1: Síntese das Respostas às Questões de Pesquisa.

CEQ/Resposta	Concorde	Não Concorde	Indiferente
CEQ05	48,1%	44,4%	7,4%
CEQ06	40,7%	44,5%	14,8%
CEQ07	44,4%	29,6%	25,9%
CEQ08	74,0%	14,9%	11,1%
CEQ09	44,4%	18,5%	37,0%
Média	50,3%	30,3%	19,2%

A maioria dos respondentes concorda, de modo geral, que os SI do tribunal exibem características de SoS. Entretanto, este resultado requer cautela, visto que pouco

mais de 50% demonstraram concordância, enquanto uma parcela substancial permaneceu indiferente ou discordou. Essa ambiguidade provavelmente decorre de fatores como o desconhecimento do conceito de SoS, a dificuldade em interpretar as implicações de cada característica ou o conhecimento limitado e pouco aprofundado sobre o panorama completo dos SI do tribunal.

Dado que o questionário, isoladamente, não pôde caracterizar de forma conclusiva o conjunto de SI do tribunal como um SoS, realizou-se subsequentemente uma análise mais detalhada dos sistemas, focando novamente nas cinco características centrais de SoS (detalhadas na próxima subseção). Para viabilizar esta análise, foram obtidos dados detalhados sobre os SI do tribunal a partir do Catálogo de Soluções de Software do TJGO⁴, de acesso público, e de outras documentações públicas⁵. Embora o Catálogo de Software descreva centenas de SI, a análise das propriedades de SoS concentrou-se apenas em um subconjunto e seus respectivos módulos. Esta documentação descreve os SI sob uma perspectiva funcional e permite a visualização de sua interação em alto nível. Para facilitar a compreensão nas subseções seguintes, as siglas dos SI analisados serão citadas, acompanhadas de uma breve explicação de cada uma.

5.2.4 Caracterização como um SoS

Esta subseção apresenta uma argumentação narrativa (lógica e técnica) que fundamenta a premissa de que o objeto desta investigação constitui um SoS. Embora experientes em TI, 81,4% dos participantes da pesquisa de opinião executada na seção anterior possuíam pouco ou nenhum conhecimento sobre SoS, o que constitui uma ameaça à identificação precisa de propriedades abstratas como comportamento emergente e independências, por exemplo. Esse fator levou ao uso da caracterização documental e narrativa do autor para confirmar objetivamente as propriedades do ambiente.

A Validade científica desse método subjetivo para caracterização (narrativa do autor), descrito nessa seção, é apresentada uma limitação do tese (Seção 6.3), e pode ser questionado quanto a sua validade científica, porém se justifica pelo fato do método utilizado a *priori*, um estudo qualitativo de natureza descritiva e exploratória, que utilizou pesquisa de opinião, análise documental e dedução lógica baseada em critérios da literatura, para garantir o rigor científico, não foi conclusivo. Logo, esta narrativa cumpre o papel de síntese qualitativa, transformando dados dispersos em uma estrutura que reflete a realidade operacional do tribunal.

⁴Disponível em <http://tjdocs.tjgo.jus.br/documentos/847730>, acessado em Outubro/2025.

⁵Disponível em <https://projudi.tjgo.jus.br/>, link ajuda. Acessado em Outubro/2025.

Independência Operacional

A caracterização da Independência Operacional (IO) dos SI do TJGO requer a verificação de que cada sistema mantém sua utilidade e capacidade de tomar decisões autônomas, mesmo quando engajado na missão coletiva do SoS. A IO é uma característica essencial que distingue um SoS de outros sistemas complexos [172] e, para que os SI do TJGO avaliem essa propriedade, devem atender às seguintes premissas: (i) Capacidade de existir fora do SoS: o SI deve ser útil por si só, possuindo a capacidade de operar independentemente para cumprir seus próprios propósitos, separadamente do SoS; deve ser capaz de operar quando desvinculado do restante do SoS; (ii) Preservação de objetivos individuais: o SI preserva seus próprios objetivos individuais previamente estabelecidos, mesmo enquanto participa da missão global; (iii) Autonomia na tomada de decisão: a operação do SI é governada por suas próprias regras, apesar de influências externas; o SI deve oferecer suas capacidades de forma compartilhada no tempo para atender tanto às suas necessidades quanto às do SoS [172, 203].

Para transcender a simples existência (utilidade autônoma) e verificar a IO no nível em que ocorre a colaboração, é necessário avaliar se os sistemas possuem mecanismos internos de autonomia e tomada de decisão. A arquitetura deve satisfazer Requisitos Arquiteturalmente Significativos (ASR) relacionados à IO: (i) mecanismos de Troca de Contexto (*Context Switching*): o SI precisa ser capaz de alternar entre o seu próprio contexto e o contexto do SoS, por meio de um constituinte central de gestão de trabalho; (ii) Capacidade de Negociação do Grau de IO: o SI deve ser capaz de negociar seu grau de IO, o qual define o nível de disponibilidade do sistema para o SoS, envolvendo potencialmente recursos como tempo e processamento.

O PROJUDI possui um mecanismo que assegura que atividades para cumprir seus próprios objetivos, tais como a tramitação de processos urgentes, tenham prioridade sobre atividades voltadas às missões do SoS, como o envio de dados estatísticos via Codex (um SI que trata dados para submissão ao CNJ), por exemplo. Isso permite que o sistema utilize suas capacidades e informações para si próprio antes de disponibilizá-las ao SoS. O sistema Codex deve ser capaz de definir e impor um grau de IO que limite a taxa de extração/conversão do Extrator Codex para garantir que o desempenho do PROJUDI não seja comprometido. Caso o sistema possa decidir por não aceitar, ou por postergar, uma missão de envio de dados ao CNJ para preservar sua estabilidade interna, indicando evidência de que ocorre IO.

Finalmente, a IO pode ser verificada por meio do conceito de demonstração baseada na avaliação da Afinidade Operacional (AO) [203], a qual pode ser utilizada para avaliar a natureza do relacionamento entre os sistemas, confirmando a manutenção da independência. Esta métrica mensura a importância que o Produtor (SI X) atribui ao Consumidor (SI Y) em termos de resultados, e vice-versa. Para caracterizar a IO, os

sistemas do TJGO (X) devem perceber sua própria missão como tendo prioridade, ou importância, equivalente ou superior à missão do consumidor externo (Y).

Por exemplo, o PROJUDI (X) possui AO com os *Webservices* das Delegacias de Polícia (Y), em que X avalia o resultado (integração) como de Importância Média (1), visto que o processo central ocorre internamente. O Consumidor Y (Delegacia) avalia a entrada (dados do PROJUDI) como de Importância Forte (2). O Produtor (PROJUDI) não é totalmente dedicado ao Consumidor, refletindo que mantém o direito de priorizar outros consumidores ou suas próprias operações, o que constitui o cerne da IO. Da mesma forma, o SOF (X) possui AO com o WS da API de Pagamentos Bancários (Y). Se o SOF avalia que o serviço de integração bancária possui Importância Média (1), mas o Consumidor (Y) o avalia como Não Importante (0), a relação resultante (por exemplo, Consumidor Oculto) apresenta a utilidade percebida do sistema do TJGO por si só, e não apenas por meio da aliança. Independentemente disso, o ato de classificar essas afinidades e reconhecer que os SI do TJGO não dependem exclusivamente da aliança operacional para entregar seus resultados aos seus consumidores originais (Servidores, Advogados e Unidades Judiciárias, por exemplo) constitui a evidência tangível da IO.

Independência Gerencial

A caracterização da Independência Gerencial (IG) dos SI do TJGO é obtida por meio da identificação de organizações distintas que gerenciam os SI e pela análise de como essas organizações mantêm sua autonomia, mesmo ao trabalharem em prol de um objetivo comum do SoS. Possuir IG implica que os SI são geridos por organizações que preservam algum grau de independência, ainda que sejam interdependentes enquanto participam do SoS. Essas organizações (os proprietários dos sistemas) mantêm uma existência operacional contínua e independente durante a participação no SoS. Ademais, tais organizações podem possuir metas e objetivos para os SI que divergem daqueles do SoS como um todo [172]. Considerando a estrutura organizacional do TJGO, a IG manifesta-se nas interações com entidades externas ao núcleo de TI do TJGO, representada pela Diretoria de Soluções em Tecnologia da Informação - DSTI, sendo evidenciada pela existência e gestão dos sistemas por três categorias distintas de organizações: (i) Organizações Governamentais Federais e Nacionais Independentes; (ii) Agências Parceiras Interorganizacionais; (iii) Fornecedores e Provedores de Sistemas Contratados.

O catálogo elenca diversos sistemas de apoio jurisdicional externo e serviços de integração que são gerenciados por outras esferas do Judiciário ou órgãos federais. Sistemas como o Malote Digital, SAP (Sistema de Acompanhamento Processual), SEEU (Sistema Eletrônico de Execução Unificado) e BNMP (Banco Nacional de Monitoramento de Prisões), por exemplo, são geridos pelo CNJ ou possuem gestão técnica atribuída à Corregedoria-Geral da Justiça do Estado de Goiás (CGJGO), contudo, constituem siste-

mas centrais de jurisdição nacional. Sistemas como o ReEletrônico e o SATI são recursos eletrônicos gerenciados pelo STF e pelo STJ. Ademais, o Codex é um serviço mantido na plataforma PDPJ-Br, também gerida pelo CNJ. O TJGO pode, portanto, ser compreendido como um tribunal estadual que atua como um CS dentro do SoS abrangente do Judiciário Brasileiro. Os sistemas gerenciados pelo CNJ ou pelo STF também caracterizam a IG, uma vez que tais organizações mantêm a gestão, as regras, as prioridades e o controle sobre seus sistemas. O TJGO utiliza essas capacidades (conectividade), mas não realiza a gestão do desenvolvimento primário ou a manutenção desses sistemas.

Vários serviços de integração, sob a forma de SI, também estão disponíveis, conectando o TJGO a agências parceiras interorganizacionais, tais como prefeituras, delegacias de polícia, o Ministério Público (MP) e procuradorias, por exemplo. Esses serviços, que permitem a integração com outros órgãos, também caracterizam a IG, visto que os dados são geridos por uma organização distinta, com objetivos e prioridades próprios que não se restringem à missão exclusiva do TJGO. A gestão de uma Prefeitura, por exemplo, deve anuir e negociar o compartilhamento de dados.

Finalmente, o catálogo elenca sistemas administrativos que foram adquiridos ou desenvolvidos por fornecedores externos, mas que são essenciais para as operações internas do TJGO, como o EGESP RH (Gestão de Pessoas), Ouvidoria e ContratosGov. Embora o TJGO seja o cliente e detenha a gestão técnica desses SI, a propriedade intelectual e o desenvolvimento ou manutenção primários (e, portanto, a gestão sob a ótica do fornecedor) pertencem à organização externa, que deve gerir o SI de acordo com seus próprios objetivos de negócio (lucro, suporte, evolução). Essa relação fornecedor/cliente exige negociação e o reconhecimento de que as prioridades e incentivos do fornecedor podem não estar 100% alinhados aos do TJGO, o que constitui a essência da IG. Portanto, a simples existência de sistemas sob a gestão de outros órgãos, como o CNJ, o STF ou empresas terceirizadas, evidencia que o SoS do TJGO é composto por CSs com IG, uma vez que tais sistemas pertencem a organizações que mantêm a capacidade de estabelecer suas próprias regras e objetivos, mesmo enquanto participam da missão do SoS.

Distribuição

A Distribuição é o critério pelo qual os CSs são fisicamente desacoplados (dispersos) e trocam informações entre si por meio de alguma tecnologia de rede [51]. Esta é, provavelmente, a característica de mais simples observação no ambiente do TJGO, visto que o catálogo descreve SI de diferentes entidades, como o CNJ e prefeituras, por exemplo. Esses sistemas possuem dispersão física (desacoplamento), uma vez que são sistemas externos geograficamente distribuídos. São sistemas fisicamente desacoplados e geograficamente amplos, localizados em diferentes cidades e estados. Assim, a interação entre os SI limita-se à troca de informações por meio de alguma tecnologia de rede. Essa

ampla dependência de serviços externos e o uso de portais web e sistemas em nuvem confirmam que o sistema do TJGO se enquadra na definição de distribuição para um SoS.

Desenvolvimento Evolucionário

O Desenvolvimento Evolutivo (DE) é a característica do SoS que reconhece que o sistema evolui continuamente, impulsionado pela evolução de seus constituintes e por mudanças nas necessidades do negócio ou da missão global [149]. As informações sobre os SI do TJGO fornecem evidências concretas de que este ambiente é intrinsecamente evolutivo, refletindo o dinamismo da justiça. A evolução não se limita à adição de novas capacidades, mas inclui também a substituição de sistemas mais antigos. A descontinuação de sistemas legados, como o SPG (Sistema de Processos de 1ª Instância) e o SSG (Sistema de Processos de 2ª Instância), explicitamente listados no catálogo como “em descontinuação”, demonstra um processo de migração e substituição arquitetural essencial para a evolução do sistema, provavelmente em favor do sistema PROJUDI. A presença de múltiplas linguagens de desenvolvimento (Java, PHP, Ruby on Rails, C#, Natural) e bancos de dados (Oracle, Adabas, Postgres, SQL Server) reflete a evolução tecnológica ao longo do tempo, indicando que novos constituintes são continuamente integrados ou que sistemas legados estão sendo substituídos.

Sistemas centrais, como o PROJUDI, evoluem constantemente para absorver novas funcionalidades e serviços, por meio da adição de módulos que evoluem de maneira especializada, tais como PROJUDI – Execução Automática, PROJUDI – Guias de Recolhimento e PROJUDI – Central de Mandados. A inclusão dessas capacidades reflete a inserção de novas funcionalidades no cerne judicial do sistema. A evolução também é frequentemente impulsionada pela necessidade de interoperar com sistemas externos, especialmente aqueles geridos pelo CNJ, o que demonstra uma adaptação contínua aos padrões e serviços nacionais, como um reflexo claro do DE. Finalmente, o próprio catálogo, datado de junho de 2025 e classificado como versão 003, com periodicidade de revisão semestral, é um artefato que demonstra o esforço em documentar e gerir a constante evolução dos SI nele contidos.

Comportamento Emergente

O Comportamento Emergente (CE) é caracterizado pela capacidade de um SoS de prover novas funcionalidades que resultam da colaboração em tempo de execução entre seus constituintes, as quais não seriam alcançadas por nenhum deles isoladamente. Uma vez em interação, esses constituintes criam novos comportamentos, denominados comportamentos emergentes [74]. A caracterização da existência de CE no SoS do TJGO

requer a identificação de uma capacidade global (missão do SoS) que seja claramente superior à soma dos constituintes.

Os SI do TJGO possuem o objetivo global de prover a prestação jurisdicional de forma eletrônica e integrada; no entanto, seus constituintes cumprem funções específicas individualmente, enquanto a interação complexa entre eles gera o CE. Um exemplo de CE no TJGO é a execução judicial eletrônica integrada em âmbito nacional. A nova funcionalidade é a capacidade de um processo judicial eletrônico tramitar continuamente, utilizando informações externas e gerando resultados financeiros e de controle que transcendem o limite de um único SI. Outro exemplo é o PROJUDI, que se conecta ao BNMP para a geração automática de mandados de prisão no sistema nacional. Esta não é uma função isolada de ambos os sistemas, mas o resultado da interoperabilidade padronizada entre o judiciário estadual e o federal.

Esta propriedade também pode ser observada entre o SOF, que controla o orçamento e as contas, e a conexão com o WS da API de Pagamentos Bancários (API com o banco) para a liquidação e o pagamento eletrônico de precatórios. A função “pagamento” não existe no SOF sem a API externa, nem no PROJUDI. O pagamento é uma capacidade que emerge da integração dos três sistemas independentes: judicial, financeiro e bancário. Em suma, dado que o TJGO possui SI com IO e IG, o comportamento resultante de sua interação é altamente complexo. A presença desses comportamentos não triviais e a dificuldade em prevê-los confirmam o CE como uma característica dos SI do TJGO.

Ao final desta caracterização, ficou evidenciado que o conjunto de SI do TJGO efetivamente constituem um SoS. Visando representar estes ambiente, foi desenvolvido um artefato (Figura 5.11) que visa modelar visualmente os sistemas do tribunal, seu comportamento e seu relacionamento. O detalhamento deste artefato é apresentado na próxima seção.

5.2.5 Detalhamento do Artefato Proposto

O artefato proposto não representa um modelo de SoS que incorpora questões arquiteturais ou operacionais; em vez disso, a intenção é demonstrar como os sistemas do tribunal são agrupados, comportam-se de forma independente e se comunicam. Ademais, não foram utilizadas notações específicas para a construção do SoS. O artefato compreende 62 serviços que representam os SI do tribunal. A representação emprega a seguinte simbologia: (i) **Retângulos**: cada retângulo na figura representa um serviço do tribunal implementado como um SI; (ii) **Setas Contínuas**: representam conexões diretas entre os SI, incluindo informações sobre dados compartilhados, retratando, assim, uma relação direta de comunicação ou fluxo de dados entre dois SI; (iii) **Setas Tracejadas**: estabelecem uma conexão entre um sistema principal e um grupo designado de sistemas.

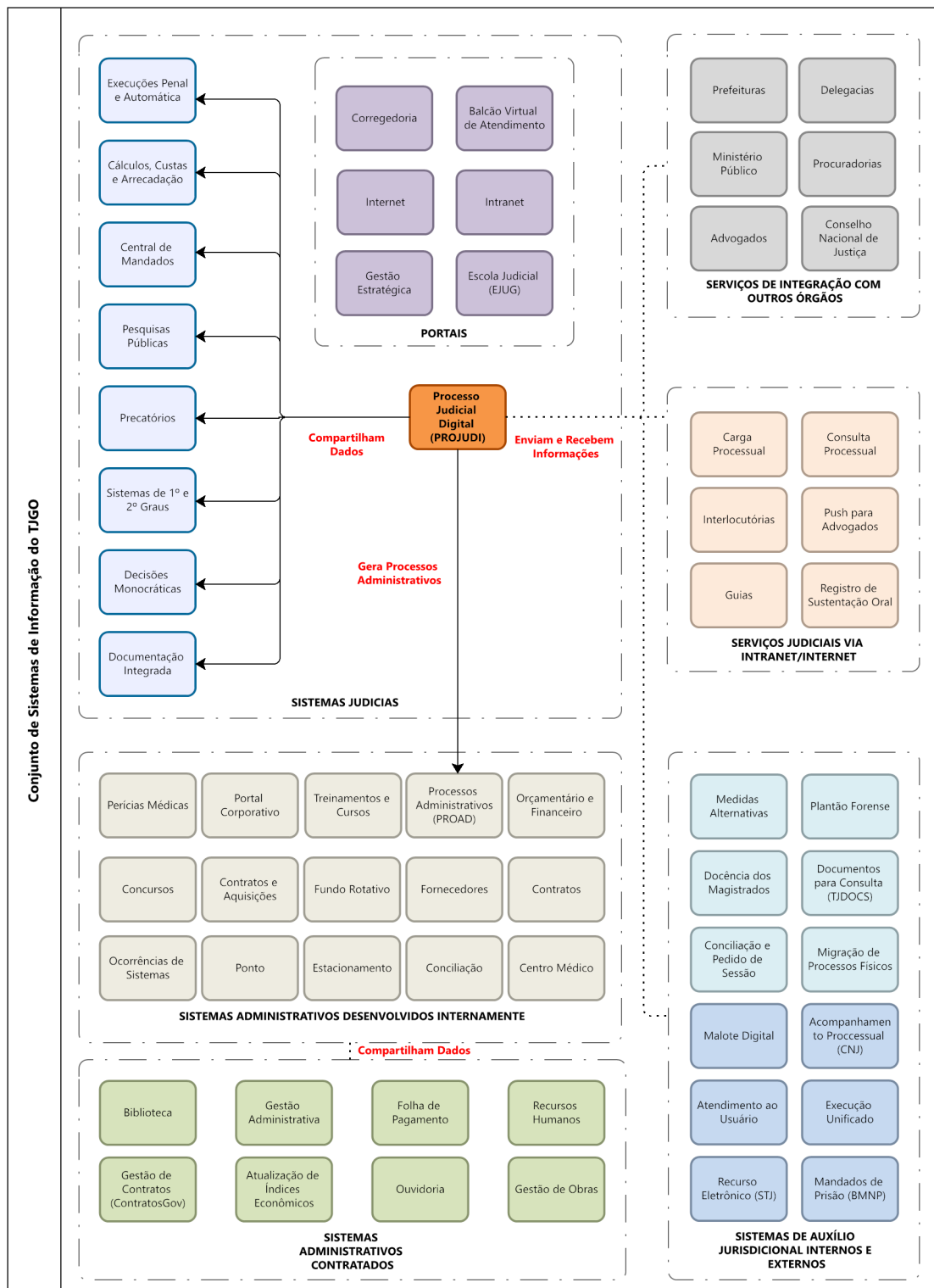


Figura 5.11: Representação do Conjunto de SI do TJGO.

Os sistemas estão organizados semanticamente por cores, o que visa transmitir a ideia de que sistemas agrupados compartilham propósitos semelhantes: (i) **Sistemas Judiciais (9)**: sistemas relacionados às atividades judiciais fins e desenvolvidos por equipes internas; (ii) **Serviços de Integração com Outros Órgãos (6)**: serviços responsáveis pela

integração com órgãos externos; (iii) **Serviços Judiciais via Intranet/Internet (6)**: serviços judiciais oferecidos a entidades externas via intranet e internet; (iv) **Sistemas de Auxílio Jurisdicional Internos/Externos (12)**: sistemas internos e externos de auxílio à jurisdição; (v) **Sistemas Administrativos Desenvolvidos Internamente (15)**: sistemas administrativos desenvolvidos internamente; (vi) **Sistemas Administrativos Contratados (8)**: sistemas administrativos adquiridos ou desenvolvidos por fornecedores externos; **Portais (6)**: portais de administração interna geridos por áreas de negócio.

No que tange à comunicação entre os sistemas, o Processo Judicial Digital (PROJUDI) atua como o principal *hub* de comunicação e gestão de dados, conectando os subsistemas judiciais e os portais. O PROJUDI: (i) **Envia e Recebe Informações** para outros grupos de serviços e está vinculado aos Portais, indicando uma troca de dados contínua e funcional; (ii) **Compartilha Dados** com um grupo central de Sistemas Judiciais, posicionando o PROJUDI como a principal fonte de dados para a maioria das funções judiciais especializadas; e (iii) **Gera Processos Administrativos** para o Sistema Administrativo (PROAD), indicando que a movimentação processual do tribunal desencadeia a necessidade de processos administrativos de suporte. Portais e sistemas internos estabelecem fluxos de dados específicos para atividades complementares ao processo judicial. Ademais, o grupo de Sistemas Administrativos de Desenvolvimento Interno compartilha dados com os Sistemas Administrativos Contratados.

5.3 Instanciação do PreSoSG para o SoS do TJGO

O objetivo desta seção é instanciar PreSoSG (Figura 4.10) no ambiente de SoS caracterizado nas seções anteriores. Conforme demonstrado, o conjunto de SI do TJGO pode ser considerado um SoS. Desta forma o PreSoSG pode ser instanciado neste ambiente, visando demonstrar a sua viabilidade. Isso é importante porque permite uma futura avaliação deste modelo em um cenário real, de maneira que o mesmo possa ser aprimorado, e posteriormente utilizado como base para implementação em outros ambientes de SoS, por meio de estudos de caso reais relacionados a outros domínios, contribuindo para avanço significativo da área. Visando facilitar o entendimento sobre a forma pela qual a instanciação será implementada, a Figura 5.12 mostra em alto nível como os elementos envolvidos nesta representação estão estruturados e como se comunicam.

Para facilitar o entendimento da representação, os elementos contidos na imagem são representados de acordo com sua natureza semântica. Governança é representada como um objeto de negócio, Sistemas-de-Sistemas (SoS), Sistemas Constituintes (CS) e o sistema alvo da instância (SoS do TJGO) são representados como sistemas de software. O Artefato de Caracterização do SoS do TJGO é representado como um

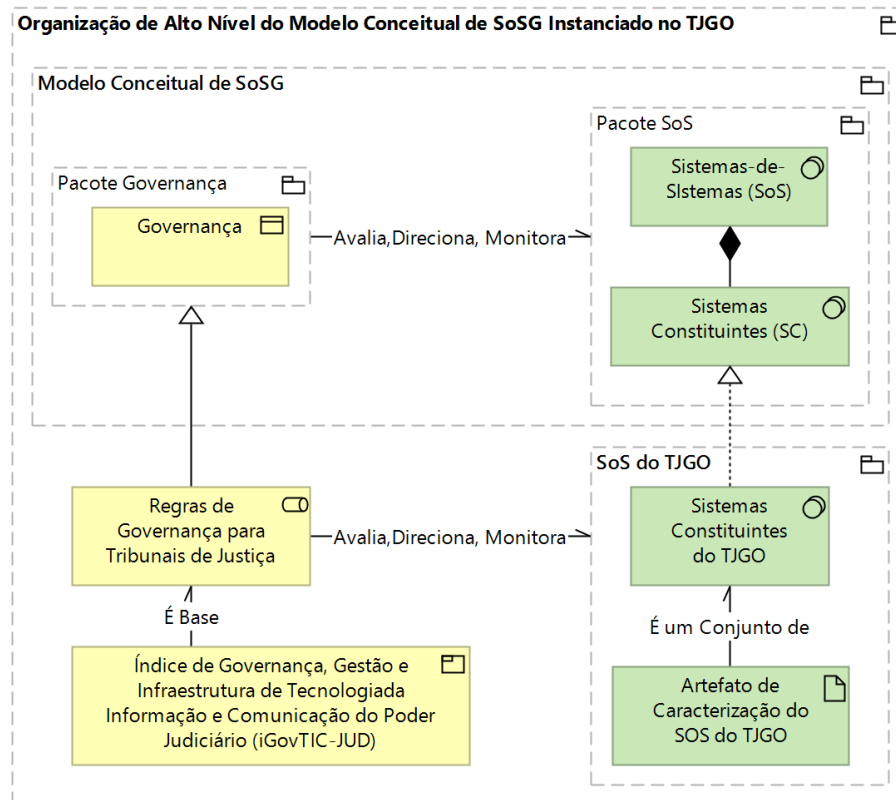


Figura 5.12: Organização do PreSoSG Instanciado em Alto Nível.

artefato de documentação, REgras de Governança para Tribunais de Justiça como uma regra de negócio e iGovTIC-JUD como o produto, que representa a base normativa que fundamenta as regras de negócio. A segmentação do modelo em pacotes (agrupamentos) foi utilizada para organizar a semântica e facilitar o entendimento dos diferentes papéis e da comunicação macro entre os seguintes elementos: (i) Modelo Conceitual de SoSG; (ii) SoS do TJGO; (iii) Relacionamentos e Fluxos de Comunicação.

- i. *Modelo Conceitual de SoSG*: Este agrupamento superior representa a estrutura teórica e genérica proposta no Capítulo 4 da tese. Ele contém o Pacote Governança, que define o conceito de autoridade, e o Pacote SoS, que define a estrutura do sistema governado.
- ii. *SoS do TJGO*: Este agrupamento inferior materializa a instância prática no tribunal. Ele conecta os requisitos nacionais de governança judiciária à realidade tecnológica dos 62 serviços de TI do TJGO, permitindo que o modelo genérico seja aplicado a um cenário real.
- iii. *Relacionamentos e Fluxos de Comunicação*
 - O conceito genérico *Governança* avalia, direciona e monitora o conceito genérico *Sistemas-de-Sistemas (SoS)*, por meio de uma associação que estes elementos.

- *Regras de Governança para Tribunais de Justiça* avalia, direciona e monitora o TJGO SoS, e herda as características gerais de Governança, adaptadas com especificidades do contexto jurídico. O mesmo ocorre na hierarquia entre Sistemas-de-Sistemas (SoS) e Sistemas Constituintes (CS).
- O *Índice de Governança, Gestão e Infraestrutura de Tecnologia da Informação e Comunicação do Poder Judiciário (iGovTIC-JUD)* é o documento que representa a base para definição da regras de governança para o contexto jurídico.
- Artefato de *Caracterização do SoS do TJGO* representa con conjunto de Sistemas Constituintes do TJGO, que por sua vez representa a implementação do conceito genérico Sistemas Constituintes, herdando suas propriedades e comportamentos.

É importante destacar que **associação entre os elementos *Sistemas Constituintes (CS)* e *Sistemas Constituintes (CS)* do TJGO é crucial para compreender a instanciação do modelo, pois representa o elo de ligação entre o PreSoSG e o ambiente de SoS caracterizado**. Este tipo de relação, chamada de **realização**, representa a essência do modelo de instanciação proposto e irá ocorrer entre diversos elementos comuns entre o modelo e o SoS. De forma geral a realização é uma dependência de abstração especializada onde um elemento de especificação (o fornecedor) é vinculado a um elemento de implementação (o cliente). No contexto do modelo, *Sistemas Constituintes (CS)* atua como o fornecedor, estabelecendo o “contrato” que define o que é ser um sistema membro de um SoS. Já o elemento *Sistemas Constituintes do TJGO* atua como cliente, assumindo o compromisso de cumprir integralmente as propriedades e comportamentos definidos nesse contrato. A Seção 5.3.2, de instanciação, irá detalhar este relacionamento de forma técnica e aprofundada.

Entranto, antes de instanciar o modelo é necessário compreender a origem das características que direcionam o comportamento dos SoS do TJGO, ou seja, seu embasamento. O documento chamando Índice de Governança, Gestão e Infraestrutura de Tecnologia da Informação e Comunicação do Poder Judiciário (iGovTIC-JUD) [36] representa essa base, e será detalhado a seguir.

5.3.1 Índice iGovTIC-JUD

O CNJ, descrito Seção 5.2.1, atua como o órgão central de planejamento e controle administrativo do Poder Judiciário brasileiro, **exercendo uma autoridade de governança sobre os tribunais estaduais**, como o TJGO. Por meio da Estratégia Nacional de Tecnologia da Informação e Comunicação (ENTIC-JUD), o CNJ define os viabilizadores de governança e os requisitos normativos que determinam diretamente o comportamento

e a evolução dos Sistemas de Informação (SI) nos órgãos sob seu controle. Essa atuação regulatória manifesta-se na exigência de padrões obrigatórios de interoperabilidade, na integração à Plataforma PDPJ-Br (descrita na Seção 5.2.1) e na adoção de protocolos estritos de segurança cibernética e inteligência artificial. Como órgão de governança, o CNJ cumpre as funções de avaliar, direcionar e monitorar a maturidade tecnológica dos tribunais através do Índice iGovTIC-JUD, que exige a comprovação da existência e execução de diversos processos e planos. Assim, o comportamento dos sistemas do TJGO é condicionado às metas e indicadores nacionais estabelecidos pelo CNJ, visando garantir a conformidade, a eficiência operacional e a entrega de valor à sociedade.

O iGovTIC-JUD, que é um diagnóstico anual (atualmente na versão 2025⁶), foi instituído com o objetivo de mensurar a maturidade em Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) dos órgãos sob seu controle administrativo e financeiro. Realizado por meio de um questionário aplicado às instituições judiciárias, o índice avalia as práticas de Governança, Gestão e Infraestrutura de TIC, permitindo a realização de análises comparativas e a identificação de oportunidades de melhoria. Os resultados desse índice integram as metas da ENTIC-JUD, funcionando como um indutor para o aperfeiçoamento dos viabilizadores de governança tecnológica. A estrutura de avaliação é composta por duas seções principais: uma destinada à autoavaliação da área de TIC e outra voltada à percepção das áreas de negócio sobre a efetividade dos serviços entregues. Com base na pontuação final, os órgãos são classificados em quatro níveis de maturidade: Baixo; Satisfatório; Aprimorado; Excelência.

Regras de Governança

O iGovTIC-JUD é composto por duas seções principais (Figura 5.13), que avaliam diferentes perspectivas da Governança e Gestão de TIC. A pontuação final é obtida pelo somatório ponderado das notas da Área de TIC (com peso de 90%) e da Área de Negócio (com peso de 10%). A seção Avaliação da Área de TIC possui 64 questões no total, sendo 28 perguntas específicas destinadas a aferir o grau de maturidade nos domínios de Governança e Gerenciamento de Serviços e 36 perguntas que não pontuam, voltadas à coleta de dados sobre força de trabalho, orçamento e inovação. A seção Avaliação da Área de Negócio contém 10 perguntas que medem a percepção dos usuários sobre a efetividade, inovação e entrega de valor da TIC para os objetivos estratégicos do órgão.

O subseção Sistemas de Informação, que está relacionada ao objetivo deste trabalho, tem como objetivo **mensurar a maturidade** da área e promover o aperfeiçoamento

⁶Disponível em <https://atos.cnj.jus.br/files/compilado112741202504236808cead84e38.pdf>. Acessado em janeiro de 2026.

Perguntas	iGovTIC-JUD 2021/2026
64	Seção 1 – Avaliação da Área de TIC
28	Subseção 1.1 – Perguntas específicas de TIC
17	Governança e Gestão de TIC
2	Estruturas Organizacionais e Macroprocessos
5	Políticas e Planejamento
6	Transformação Digital
2	Atendimento e Suporte ao Usuário
2	Pessoas
11	Gerenciamento de Serviços de TIC
4	Infraestrutura Tecnológica e Serviços em Nuvem
4	Riscos, Segurança da Informação e Proteção de Dados
3	Sistemas de Informação
36	Subseção 1.2 – Diagnóstico Complementar
10	Seção 2 – Avaliação da Área de Negócio
5	Governança e Gestão de TIC
5	Gerenciamento de Serviços de TIC

Figura 5.13: *Composição geral do iGovTIC-JUD 2021-2026.*
 Fonte: [36].

das práticas de governança e gestão relacionadas às soluções tecnológicas que sustentam as atividades do tribunal avaliado. Para isso são definidos três itens de avaliação: (i) Interoperabilidade; (ii) Desenvolvimento e Sustentação; (iii) Soluções de TIC. Para fins de rastreabilidade em relação ao modelo conceitual que será instanciado, deste ponto em diante cada item definido pelo iGovTIC-JUD receberá um identificador, que será chamado de Item de Governança (IG). Esse identificador será usado para relacionar o IG ao elemento representado no modelo conceitual, de forma que este possa ser posteriormente verificado quanto a sua completude e precisão.

- i. **IG01. Interoperabilidade.** Avalia o quanto o órgão adequa seus sistemas aos padrões de interoperabilidade estabelecidos pelo CNJ. A pontuação é atribuída conforme o percentual de integrações em processos judiciais que seguem esses padrões.
- ii. **IG02 Desenvolvimento e Sustentação.** Considera a existência de processos instituídos e revisados periodicamente para o ciclo de vida dos sistemas. Avalia também se as equipes estão capacitadas e se os projetos aderem estritamente a esses processos definidos.
- iii. **IG03. Soluções de TIC.** Verifica a existência de um catálogo (portfólio) de soluções e a definição clara de papéis e responsabilidades. Um ponto crítico desta avaliação é a demonstração de que a área comercial é a responsável por receber, avaliar e

priorizar as demandas referentes ao negócio de cada solução.

A avaliação de cada um destes itens segue a lógica da Nota do Item (NI-TIC), na qual cada subitem é valorado de 0 a 100 pontos conforme sua importância, e a Nota Final da Pergunta (NFP-TIC) é obtida pelo somatório desses pontos. Para (i) Interoperabilidade, a medição é feita por faixas percentuais: integrações entre 0% e 19% recebem nota 0; entre 20% e 39% recebem 30 pontos; e assim sucessivamente até a nota máxima de 100 pontos para integrações entre 90% e 100%; Para (ii) Desenvolvimento e Sustentação, a nota é composta pela soma de quatro requisitos: existência de processo formalmente instituído (5 pts), revisão periódica (30 pts), equipes capacitadas (30 pts) e aderência dos projetos ao processo (40 pts); Para (iii) Soluções de TIC, a maturidade é medida na gestão de portfólio, atribuindo 10 pontos para a existência de um catálogo formal, 45 pontos para o normativo que define papéis no ciclo de vida e 45 pontos para a comprovação de que a área comercial é a responsável por priorizar demandas.

Especificamente em relação ao item Desenvolvimento e Sustentação, o iGovTIC-JUD avalia os SI dos tribunais considerando diversas outras seguintes características, agrupadas em três categorias: (i) Coordenação e Estrutura; (ii) Gerenciamento de Processos de Software; (iii) Características dos Sistemas de Informação; (iv) Recursos Humanos.

i. *Coordenação e Estrutura.*

- **IG04.** Verifica se coordenação do Macroprocesso de Software é executada por servidor(es) do quadro permanente de TIC do órgão e em regime de dedicação exclusiva.

ii. *Gerenciamento de Processos de Software.*

- **IG05.** Mede o quanto o processo de gerenciamento de escopo e requisitos é formalmente instituído como norma de cumprimento obrigatório, é executado de acordo com o seu ato constitutivo, é revisado anualmente e aperfeiçoado quando necessário.
- **IG06.** Mede o quanto o processo de gerenciamento de arquitetura e requisitos é formalmente instituído como norma de cumprimento obrigatório, é executado de acordo com o seu ato constitutivo, é revisado anualmente e aperfeiçoado quando necessário.
- **IG07.** Mede o quanto o processo de desenvolvimento é formalmente instituído como norma de cumprimento obrigatório, é executado de acordo com o seu ato constitutivo, é revisado anualmente e aperfeiçoado quando necessário.
- **IG08.** Mede o quanto o processo de sustentação ou manutenção é formalmente instituído como norma de cumprimento obrigatório, é executado de acordo

com o seu ato constitutivo, é revisado anualmente e aperfeiçoado quando necessário.

- **IG09.** Mede o quanto o processo de gerenciamento de solução de software (ciclo de vida) é formalmente instituído como norma de cumprimento obrigatório, é executado de acordo com o seu ato constitutivo, é revisado anualmente e aperfeiçoado quando necessário.

iii. *Características dos Sistemas de Informação.*

- **IG10.** Verifica se os SI são classificados e identificados os que são estratégicos.
- **IG11.** Verifica se os SI de procedimentos judiciais são portáteis e interoperáveis.
- **IG12.** Verifica se os SI de procedimentos judiciais estão disponíveis para dispositivos móveis.
- **IG13.** Verifica se os SI de procedimentos judiciais são responsivos.
- **IG14.** Verifica se os SI de procedimentos judiciais possuem documentação atualizada.
- **IG15.** Verifica se os SI oferecem suporte para assinatura baseado em certificado ICP-Brasil.
- **IG16.** Verifica se os SI atendem aos critérios estabelecidos no Modelo de Acessibilidade em Governo Eletrônico (eMAG).
- **IG17.** Verifica se o Modelo Nacional de Interoperabilidade (MNI) é utilizado para prover integração entre sistemas e outros entes públicos.
- **IG18.** Verifica se as informações sobre processos judiciais são disponibilizados na internet.

iv. *Recursos Humanos.*

- **IG19.** Verifica se os clientes demandantes de solução de software são designados e comunicados formalmente de suas responsabilidades.
- **IG20.** Verifica se os gestores técnicos de solução de software são designados e comunicados formalmente de suas responsabilidades.
- **IG21.** Verifica se o quantitativo de servidores de TIC do quadro permanente que exercem exclusivamente atividade técnica de desenvolvimento e de sustentação ou manutenção de software.

Todos os itens são medidos de acordo com a seguinte escala: Não Adota; Iniciou Plano para Adotar; Adota Parcialmente; Adota Integralmente. Apenas o último item, relacionado ao quantitativo de servidores de TIC do quadro permanente é medido de forma numérica.

Além dos itens acima relacionados, o iGovTIC-JUD exige que a área de TI como um todo cumpra algumas exigências, que também influenciam a avaliação de seu nível de maturidade, e que estão diretamente relacionadas aos Sistemas de Informação. São elas:

- **IG22.** Requer processos formalmente instituídos, executados e revisados para o planejamento orçamentário, gerenciamento de projetos e gerenciamento de contratos.
- **IG23.** Entrega e execução de planos previstos na ENTIC-JUD (Capacitação, Continuidade e Riscos), exigindo evidência documental do Plano de Trabalho.
- **IG24.** Exige um Comitê de Governança de TIC instituído e atuante, com comprovação da frequência de reuniões e deliberações.
- **IG25.** Requer a existência e atuação do Comitê de Gestão de TIC para acompanhamento tático-operacional.
- **IG26.** Exige um Plano Diretor de TIC (PDTIC) vigente e a comprovação do seu percentual de execução real por meio de planilha de monitoramento.
- **IG27.** Requer ações de padronização de tabelas, adequação à Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) [25], uso de assinaturas digitais e declaração de independência da infraestrutura do CNJ para o Codex.
- **IG28.** Requer a realização de pesquisa de satisfação anual com usuários internos e externos, atingindo altos índices de excelência.
- **IG29.** Requer conformidade com a Estratégia Nacional de Segurança Cibernética do Poder Judiciário (ENSEC-PJ), implementação de Múltiplo Fator de Autenticação (MFA) em sistemas sensíveis e adoção do Protocolo de Prevenção de Incidentes Cibernéticos do Poder Judiciário (PPINC-PJ).
- **IG30.** Exige que o Plano de Gestão de Riscos de TIC seja instituído, executado e revisado.
- **IG31.** Requer que a Política de Segurança da Informação (PSI) seja formalizada, executada e revisada periodicamente.

Considerando os itens avaliados pelo iGovTIC-JUD e suas exigências, que o conjunto de SI do TJGO é um SoS (Subseção 5.2.5), e o PreSoSG (Subseção 4.3.3), a próxima Subseção 5.3.2 apresenta a instanciação deste modelo no ambiente do TJGO. Para isso, cada item definido (IG) pelo iGovTIC-JUD será mapeado em um elemento do modelo, visando garantir a cobertura de tudo aquilo que foi definido pela governança do CNJ.

5.3.2 Instanciação

A visão em alto nível do PreSoSG instanciado, representado nas seções anteriores (Figura 5.12), será agora refinado e representado em notação UML para que de fato o

modelo seja instanciado. Porém, conforme mencionado anteriormente, é crucial primeiramente compreender o conceito de associação por realização, que representa o elo de ligação entre o modelo conceitual proposto e o ambiente de SoS caracterizado. Este tipo de relação irá ocorrer entre diversos elementos comuns entre o modelo e o SoS.

Um relacionamento do tipo realização é definido como uma dependência de abstração que vincula um elemento de especificação (fornecedor) à sua respectiva implementação (cliente), formalizando a transição entre o design teórico e a realidade operacional [131]. **No escopo desta tese, esse mecanismo é empregado para estabelecer um compromisso de conformidade, no qual os SI do TJGO atuam como instâncias concretas que herdam e executam as propriedades contratuais delineadas no PreSoSG.** Visualmente, a realização é representada por uma linha tracejada com uma ponta de seta triangular vazia (triângulo isósceles), apontando para o elemento que está sendo realizado (a especificação), exemplificado na Figura 5.14, na associação entre a *interface Sistemas Constituintes (CS)* e a classe *Sistemas Constituintes TJGO*, que mostra a organização do PreSoSG instanciado em UML.

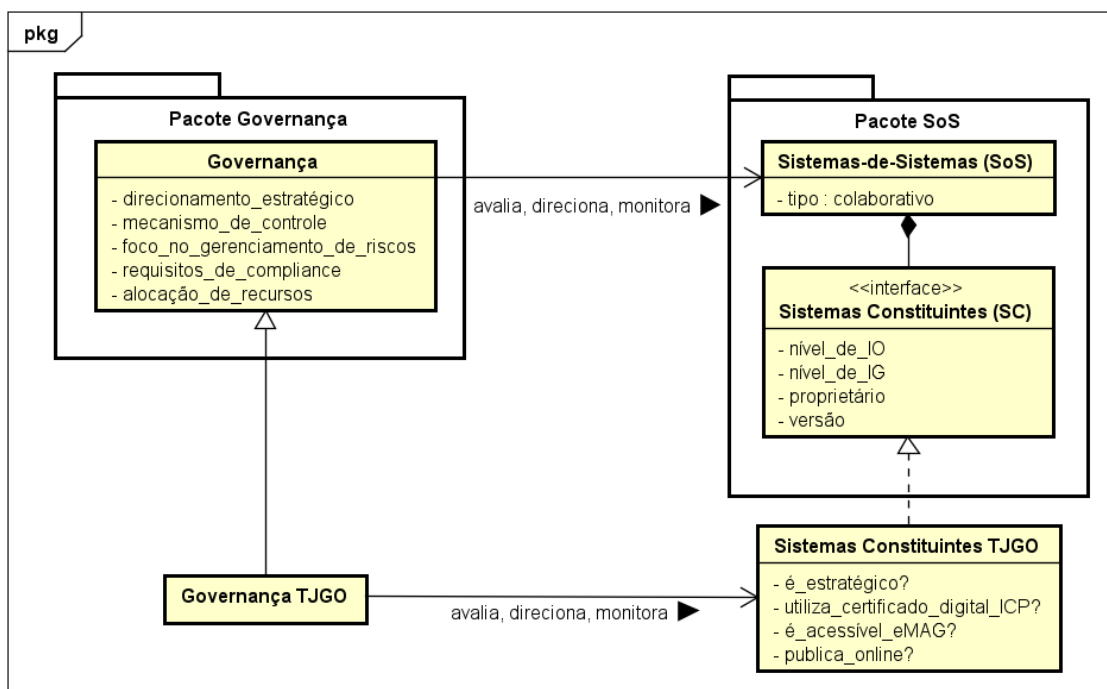


Figura 5.14: Organização do PreSoSG Instanciado em UML.

A presença de elementos com a palavra-chave «interface» é definida como um classificador que declara um conjunto de recursos públicos e obrigações, constituindo um serviço. Semanticamente, essas interfaces não podem ser instanciadas diretamente, funcionando como um acordo formalizado para estabelecer o que deve ser suportado pelos classificadores que as realizam. No contexto do TJGO, a utilização de interfaces para representar os conceitos é essencial para a rastreabilidade e conformidade normativa: elas

definem os requisitos abstratos exigidos pelo índice iGovTIC-JUD, como especificações contratuais que os sistemas e processos reais do tribunal devem obrigatoriamente cumprir, representados por meio de relacionamentos do tipo realização.

Uma vez detalhado o conceito de associação por realização, a instanciação do modelo no ambiente do TJGO é dividida em duas partes. A primeira (Figura 5.15) ilustra a representação em alto nível da caracterização do conjunto de SI do TJGO como um SoS. O objetivo é mostrar como os CSs ali representados estão agrupados, e como se comunicam. Uma vez que os SI já estão representados em detalhes na Figura 5.11, aqui serão apresentados apenas seus pacotes. Esta representação compõe o pacote da classe *Sistemas Constituintes TJGO*, que é uma realização da *interface Sistemas Constituintes (CS)*, que representa o elo entre o modelo proposto e o SoS do TJGO.

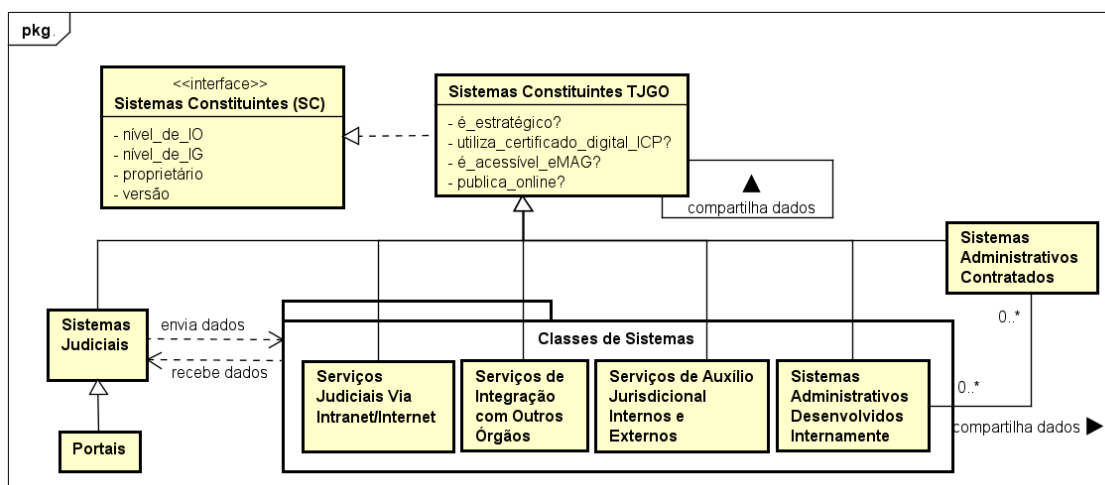


Figura 5.15: Representação em Alto Nível da Caracterização do Conjunto de SI do TJGO como um SoS.

Semanticamente, o objetivo é organizar os CS em pacotes lógicos e demonstrar como eles se comunicam e herdam as propriedades das classes de governança, detalhados a seguir: (i) Elementos Centrais; (ii) Categorização dos Sistemas (Generalizações); (iii) Relacionamentos de Comunicação (Interação).

i. Elementos Centrais.

- *Interface Sistemas Constituintes (CS)*: Representa a especificação definida para classe Sistemas Constituintes. Ela estabelece o “contrato” que todo sistema membro deve cumprir, incluindo os atributos de nível de independência operacional e gerencial, além de informações sobre o proprietário (*owner*) e a versão.
- *Classe Sistemas Constituintes TJGO*: É a implementação concreta (realização) da *Interface Constituent System* para o SoS. Ela estende esta interface com seus atributos e relacionamentos.

- *Relacionamento de Realização (Linha Tracejada)*: Indica que a classe de CS do TJGO cumpre as obrigações semânticas e estruturais da interface CS do modelo conceitual.
- ii. *Categorização dos Sistemas (Generalizações)*. O modelo agrupa os SI em pacotes de classes especializadas que herdam de textitSistemas Constituintes TJGO através de relacionamentos de generalização. Essa organização reflete a estrutura macro do SI do TJGO. Cada pacote é explicado em detalhes na Seção 5.2.5.
 - iii. *Relacionamentos de Comunicação (Interação)* Os relacionamentos de associação entre os blocos representam o fluxo de informações necessário para o comportamento do SoS.
 - *Envia/Recebe Dados*: Conectam os sistemas judiciais aos serviços de integração e assistência, representando os sistemas judiciais como um hub central que envia e recebe informações de sistemas externos e internos.
 - *Compartilha Dados*: Indica a colaboração entre sistemas administrativos (internos e contratados) e os demais blocos, evidenciando que, embora independentes, os sistemas compartilham dados.
 - *Auto-relacionamento Compartilha Dados*: Significa que um CS, independente da classe, tem a capacidade de compartilhar dados diretamente com qualquer outro CS, sem a necessidade de intermediação por um *hub* central em todas as transações, o que reforça a característica de independência operacional e gerencial desses sistemas.

A segunda parte do modelo **representa a materialização final da tese, consistindo na instanciação do PreSoSG para SoS do TJGO (Figura 5.16)**. Semanticamente, a partir deste momento, **este modelo deixa de ser uma abstração teórica para se tornar um artefato prescritivo**, que captura os aspectos mais críticos dos SI do tribunal no nível de abstração de um SoS. Para sua criação, cada Item de Governança (IG), detalhados na Subseção 5.3.1, foi mapeado em um elemento do modelo de SoSG.

Para facilitar o entendimento, os elementos do modelo instanciado foram representados em três cores. A divisão por cores segue a lógica de segmentação funcional e contextual, visando organizar a semântica do artefato e evidenciar a comunicação entre o núcleo de governança e os SoS do TJGO, deixando claro em qual contexto o modelo está sendo instanciado. Os elementos na (i) cor azul representam os conceitos centrais e estruturantes do modelo: a Governança e o SoS. Os elementos destacados em (ii) amarelo representam, individualmente, cada item exigido pela governança (IG01 a IG31), definidos na Subseção 5.3.1. Os elementos em (iii) branco representam itens definidos originalmente pelo modelo conceitual genérico, mas que não foram exigidos de forma explícita pelo iGovTIC-JUD.

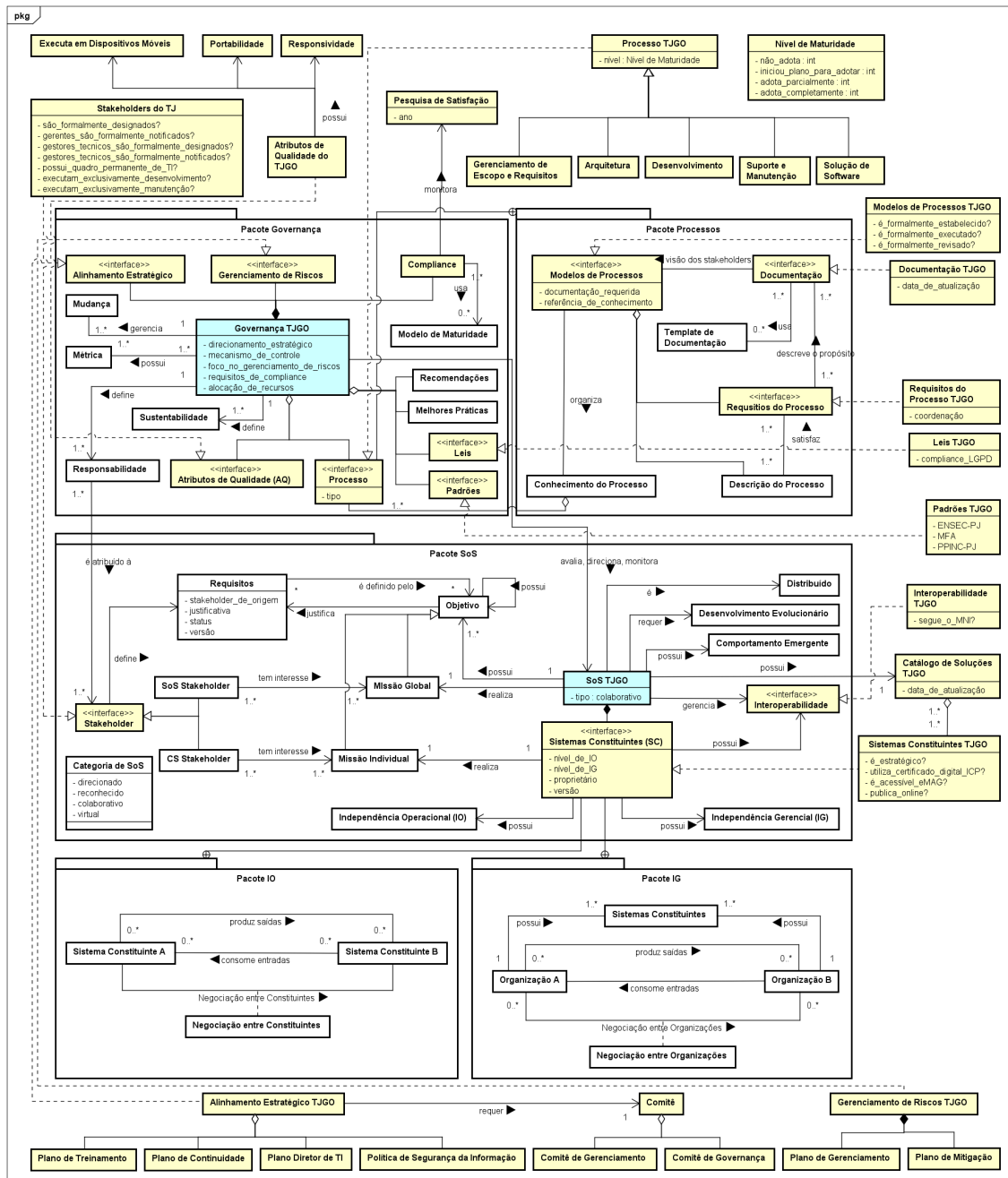


Figura 5.16: PreSoSG de SoSG Instanciado no TJGO.

AS classes *Governança TJGO* e o *SoS TJGO*, em azul, representam o contexto do TJGO e atuam como o núcleo de convergência, onde os demais elementos se conectam para viabilizar a operação e o controle do ambiente, cuja semântica é detalhada a seguir:

- *Governança TJGO*: É a autoridade de direcionamento. Representa a autoridade central de governança no tribunal. Ela é o “cérebro” do modelo, responsável pelo ciclo avaliação, direcionamento e monitoramento do SoS do TJGO. Seu papel é garantir que o SoS esteja alinhado às metas estratégicas do Judiciário, garantindo gerenciamento de riscos, *compliance*, atributos obrigatórios de qualidade para os constituintes, implementação dos processos e cumprimento de leis e padrões. Estes itens de conformidade (em amarelo) e requisitos adicionais (em branco) emanam ou reportam-se a esta classe.
- *SoS TJGO*: Representa o objeto da governança, ou seja, o SoS do TJGO composto pelos 62 serviços e sistemas de informação do TJGO, e se conecta a ele pela classe *Sistemas Constituintes (CS)*. O modelo classifica o SoS do tribunal explicitamente como do tipo *Colaborativo*. Isso reflete o contexto onde sistemas independentes (como o PROJUDI, por exemplo) decidem coletivamente colaborar para atingir a *Missão Global* da prestação jurisdicional, sem perder sua autonomia. O SoS é o receptor das funções de governança. Enquanto os pacotes de Independência (IO e IG) visam garantir as propriedades dos constituintes.

As classes representadas na cor amarela possuem uma semântica técnica rigorosa, deixando de ser apenas uma distinção visual para se tornar o eixo central da rastreabilidade do modelo. **Cada elemento destacado em amarelo representa um Item de Governança (IG01 a IG31)**, permitindo a verificação direta da conformidade do modelo com as exigências do índice iGovTIC-JUD do CNJ, permitindo a verificação tanto da **completitude**, quanto da **precisão** do modelo.

Para cada item exigido pela governança, identificado no modelo, foi usado um relacionamento do tipo realização. Na prática, isso significa que para cada *interface* representada no modelo, há uma classe de realização correspondente, que assegura que o artefato prescritivo permita a transição entre o design teórico e a realidade operacional do SoS. Isso visa garantir completitude e precisão, uma vez que os 31 itens exigidos pelo iGovTIC-JUD (IG01 a IG31) foram contemplados modelo de SoS do tribunal. Como cada IG está mapeado em um elemento do modelo, é possível fazer sua rastreabilidade, conforme detalhado a seguir.

- **Itens Gerais de Avaliação.**

- **IG01 (Interoperabilidade)**: Representado pela classe *Interoperabilidade TJGO*, que realiza a interface de interoperabilidade do SoS, medindo a adequação aos padrões do CNJ.

- **IG02 (Desenvolvimento e Sustentação):** Representado pela classe raiz *Modelo de Processo TJGO*, avaliando a existência e revisão de processos formais.
- **IG03 (Soluções de TIC):** Representado pela classe *Catálogo de Soluções*, que materializa o portfólio formal de soluções e a gestão de priorização pela área negocial.
- **Gerenciamento de Processos de Software (Ciclo de Vida).** Este grupo é representado pelo bloco **Modelo de Processo TJGO** e suas especializações, que realizam a interface *Modelo de Processo* para garantir processos instituídos e revisados.
 - **IG05 (Escopo e Requisitos):** Representado pela classe *Gerenciamento de Escopo e Requisitos*.
 - **IG06 (Arquitetura):** Representado pela classe *Arquitetura*.
 - **IG07 (Processo de Desenvolvimento):** Representado pela classe *Desenvolvimento*.
 - **IG08 (Sustentação ou Manutenção):** Representado pela classe *Suporte e Manutenção*.
 - **IG09 (Ciclo de Vida da Solução):** Representado pela classe *Solução de Software*.
- **Características Técnicas e Qualidade dos Sistemas.** Os IGs de 10 a 16 e o 18 são mapeados como atributos ou classes vinculadas ao *Sistemas Constituintes TJGO*.
 - **IG10 (Sistemas Estratégicos):** Representado pelo atributo *é_estratégico?* na classe *Sistemas Constituintes TJGO*.
 - **IG11 (Portabilidade):** Representado pela classe *Portabilidade*, ligada aos atributos de qualidade.
 - **IG12 (Dispositivos Móveis):** Representado pela classe *Executa em Dispositivos Móveis*.
 - **IG13 (Responsividade):** Representado pela classe *Responsividade*.
 - **IG14 (Documentação Atualizada):** Verificado através da classe *Documentação TJGO* e do atributo de atualização.
 - **IG15 (Certificado ICP-Brasil):** Representado pelo atributo *utiliza_certificado_digital_ICP?* na classe *Sistemas Constituintes TJGO*.
 - **IG16 (Acessibilidade e-MAG):** Representado pelo atributo *é_acessível_eMAG?* na classe *Sistemas Constituintes TJGO*.
 - **IG17 (Modelo MNI):** Também vinculado à classe *Interoperabilidade TJGO*, verifica o uso do Modelo Nacional de Interoperabilidade para integração externa.
 - **IG18 (Informações na Internet):** Representado pelo atributo *publica_online?* na classe *Sistemas Constituintes TJGO*.

- **Recursos Humanos e Papéis.**
 - **IG04 (Coordenação do Macroprocesso):** Representado pela classe *Stakeholders do TJ*, validando se a coordenação é de servidores efetivos.
 - **IG19 (Clientes Demandantes):** Representado pela classe *Stakeholders do TJ*, verificando a designação formal de gestores de negócio.
 - **IG20 (Gestores Técnicos):** Representado pela classe *Stakeholders do TJ*, para a designação de responsáveis técnicos.
 - **IG21 (Quantitativo de Servidores):** Atributo numérico *possui_quadro_permanente_de_TI?* na classe *Stakeholders do TJ*.
- **Estruturas de Decisão e Comitês.**
 - **IG24 (Comitê de Governança):** Representado pela classe *Comitê de Governança*.
 - **IG25 (Comitê de Gestão):** Representado pela classe *Comitê de Gerenciamento*.
- **Alinhamento Estratégico, Planos e Políticas.** Estes itens realizam a interface de Alinhamento Estratégico e Gerenciamento de Riscos na base do modelo:
 - **IG23 (Planos ENTIC-JUD):** Mapeado nas classes *Plano de Treinamento* (Capacitação) e *Plano de Continuidade* (Continuidade).
 - **IG26 (Plano Diretor - PDTIC):** Representado pela classe *Plano Diretor de TI*.
 - **IG30 (Plano de Riscos):** Representado pela classe *Plano de Gerenciamento de Riscos*.
 - **IG31 (Segurança da Informação - PSI):** Representado pela classe *Política de Segurança da Informação*.
 - **IG22 (Processos de Gestão):** Vinculado às interfaces de *Processo* dentro do *Pacote Governança*.
- **Conformidade Normativa e Satisfação**
 - **IG27 (LGPD e Codex):** Representado pela classe *Leis TJGO* (especificamente conformidade LGPD) e pelas interfaces de interoperabilidade.
 - **IG28 (Pesquisa de Satisfação):** Representado pela classe *Pesquisa de Satisfação*, que monitora a percepção do usuário.
 - **IG29 (Segurança Cibernética):** Representado pela classe *Padrões TJGO*, que inclui conformidade com ENSEC-PJ, MFA e PPINC-PJ.

Por fim, as classes representadas na cor branca possuem uma função estratégica fundamental para demonstrar a flexibilidade de aplicação do PreSoSG. Cada elemento representa um item definido pelo modelo conceitual, mas que não foi exigido de forma

explícita pelo iGovTIC-JUD. Porém, por se tratarem de características importantes para SoSG devem aparecer como exigências adicionais, uma vez que se trata de um modelo genérico. Essa estratégia foi utilizada para mostrar que o modelo é abrangente o suficiente para ser instanciado em outros contextos SoS, que eventualmente poderiam exigir itens de SoSG diferentes do domínio de tribunais de justiça. Enquanto os itens em amarelo mapeiam a conformidade normativa específicas do contexto judiciário, os itens em branco materializam a infraestrutura conceitual adicional necessária para que o modelo funcione como um sistema de governança completo. A explicação detalhada sobre essas classes está descrita na Seção 4.2.

Após a materialização do PreSoSG instanciado (Figura 5.16), o artefato foi submetido a uma avaliação por especialistas fundamentada em um formulário específico (detalhado no Apêndice D). Esta etapa, cujos detalhes e resultados são apresentados na próxima Seção, visou verificar a eficácia da instanciação quanto à sua abrangência, completude, precisão sintática e semântica.

5.3.3 Avaliação do Modelo Instanciado

Para avaliar o PreSoSG instanciado na seção anterior, foi projetada uma pesquisa de opinião, detalhada no Apêndice D. De forma análoga à avaliação conduzida na Seção 4.3, o protocolo foi definido em três etapas: (i) planejamento; (ii) execução; (iii) análise. Na fase de planejamento, foram definidos os objetivos da pesquisa e suas métricas, o público-alvo, o plano de amostragem e o questionário. A execução foi realizada por meio do envio de convites para responder ao questionário, seguido pela análise dos dados obtidos.

Planejamento

Na fase de Planejamento da avaliação do modelo instanciado, foram estabelecidas as diretrizes para validar se o artefato materializado cumpre seu papel como modelo prescritivo de SoSG no contexto judiciário. Visando garantir a profundidade da análise, foi criado um formulário (em inglês) dividido em três partes. A primeira parte dedicou-se ao levantamento de dados demográficos e ao perfil de experiência dos participantes, com base das mesmas perguntas detalhadas na Seção 4.3.1, coletando informações sobre nacionalidade, idade, formação acadêmica, ocupação e tempo de atuação, além de mensurar o nível de expertise específico em Governança e SoS. O público-alvo foi selecionado por meio de amostragem não probabilística por julgamento, focando em especialistas com conhecimentos em Governança e/ou SoS.

A segunda parte submeteu o PreSoSG aprimorado, proposto no Capítulo 4 (Figura 4.10), a uma nova revisão, questionando os especialistas se os diagramas detalhados

de Governança e de SoS representavam com precisão os conceitos de suas respectivas áreas. O objetivo foi de refinar ainda mais o modelo, e permitir que os respondentes o compreendessem, antes avaliar a sua instanciação. As questões de pesquisa propostas foram avaliadas por meio de perguntas fechadas, seguidas por uma pergunta aberta solicitando sugestões para aprimorar o modelo. As respostas para a questões fechadas foram baseadas em uma escala Likert, com as seguintes opções: Discordo totalmente; Discordo; Neutro; Concordo; Concordo totalmente; Não sei responder. As perguntas abertas (OEQ) e fechadas (CEQ) são descritas a seguir.

- **CEQ1:** *The model shown above accurately represents the concepts of Governance.* (O modelo mostrado acima representa com precisão os conceitos de Governança.)
- **OEQ1:** *Please list your suggestions for improving the Governance Model above.* (Por favor, liste suas sugestões para melhorar o Modelo de Governança acima.)
- **CEQ2:** *The model shown above accurately represents the concepts of SoS.* (O modelo mostrado acima representa com precisão os conceitos de SoS.)
- **OEQ2:** *Please list your suggestions for improving the SoS Model above.* (Por favor, liste suas sugestões para melhorar o Modelo de SoS acima.)
- **CEQ3:** *The model shown above contains the essential concepts, attributes, and relationships required to precisely represent a SoSG conceptual model.* (O modelo mostrado acima contém os conceitos, atributos e relacionamentos essenciais necessários para representar precisamente um modelo conceitual de SoSG.)
- **CEQ4:** *The model shown above can be considered a SoSG Conceptual Model.* (O modelo mostrado acima pode ser considerado um Modelo Conceitual de SoSG.)
- **OEQ3:** *Please list your suggestions for improving the SoSG Conceptual Model above.* (Por favor, liste suas sugestões para melhorar o Modelo Conceitual de SoSG acima.)

Por fim, a terceira parte focou na avaliação do modelo instanciado no TJGO, apresentando a descrição técnica da materialização do artefato e questionando sua capacidade de absorver os itens normativos e organizar a complexidade real do tribunal. Para nortear a investigação nesta etapa, foram definidas as seguintes Questões de Pesquisa (QPs):

- **CEQ5:** *The mapping carried out in the model satisfactorily covers all 31 governance items (IG01 to IG31) required by the National Council of Justice (CNJ) iGovTIC-JUD index.* (O mapeamento realizado no modelo cobre satisfatoriamente os 31 itens de governança (IG01 a IG31) exigidos pelo índice iGovTIC-JUD do Conselho Nacional de Justiça (CNJ).)
- **CEQ6:** *The UML realization associations and the attributes defined in the classes (especially the elements in yellow) are sufficient to ensure full traceability between*

the CNJ's normative requirements and the court's technical elements. (As associações de realização UML e os atributos definidos nas classes (especialmente os elementos em amarelo) são suficientes para garantir a rastreabilidade total entre os requisitos normativos do CNJ e os elementos técnicos do tribunal.)

- **CEQ7:** *The presented artifact proves to be a valid prescriptive SoSG Conceptual Model, capable of organizing the complexity of a real-world court from an SoS perspective while ensuring the characteristics determined by governance.* (O artefato apresentado mostra-se um Modelo Conceitual de SoSG prescritivo válido, capaz de organizar a complexidade de um tribunal do mundo real sob a ótica de SoS, garantindo simultaneamente as características determinadas pela governança.)
- **OEQ4:** *Please list your suggestions for improving the Instantiated SoSG Conceptual Model above.* (Por favor, liste suas sugestões para melhorar o Modelo Conceitual de SoSG Instanciado acima.)

A avaliação destas questões utilizou quatro métricas: Abrangência (M1), verificando a inclusão dos conceitos do domínio; Completitude (M2), avaliando a presença de atributos e relacionamentos necessários; Precisão Semântica (M3), medindo a fidelidade à realidade operacional do tribunal; e Precisão Sintática (M4), observando a aderência às regras da notação UML. A relação entre as CEQs as a métricas para avaliação do modelo instanciado podem ser visualizadas na Tabela 5.2 a seguir:

Tabela 5.2: *Relação entre CEQs e Métricas (Modelo Instanciado).*

	CEQ1	CEQ2	CEQ3	CEQ4	CEQ5	CEQ6	CEQ7
M1	x	x	x		x		
M2			x			x	
M3				x			x
M4	x	x	x			x	

CEQ1, CEQ2 e CEQ5 estão vinculadas à Abrangência (M1), pois verificam se o modelo incorpora os conceitos de governança, SoS e os 31 itens normativos do CNJ. CEQ3 e CEQ6 relacionam-se à Completitude (M2) e Precisão Sintática (M4), avaliando a presença de atributos, relacionamentos e o uso correto da notação UML para garantir rastreabilidade. CEQ4 e CEQ7 focam na Precisão Semântica (M3), avaliando se o artefato reflete a realidade operacional do tribunal e funciona como um modelo prescritivo eficaz para o mundo real.

Execução

Na fase de execução, o questionário foi enviado via e-mail aos participantes. O levantamento foi realizado entre 04 de fevereiro de 2026 e 28 de fevereiro de 2026. Foram obtidas três respostas.

Análise

Os dados obtidos foram analisados quantitativamente. Em relação aos dados demográficos, os respondentes possuem perfis internacionais, incluindo as nacionalidades canadense e australiana. A faixa etária identificada variou entre 42 e 47 anos, com dois participantes do sexo masculino e um que optou por não declarar gênero, idade ou nacionalidade. A formação acadêmica é de elevado patamar, sendo composta por dois especialistas com título de doutor e um com grau de mestre. Todos os respondentes possuem expressiva trajetória profissional, acumulando 16 ou mais anos de experiência, com atuação concentrada na academia. O nível de conhecimento técnico específico em Governança e em SoS foi classificado entre alto e *expert* por todos os participantes. Este perfil é considerado adequado para a avaliação do modelo, visto que confirma que o artefato instanciado foi submetido à avaliação de indivíduos com alto nível de escolaridade e senioridade técnica nas áreas da tese.

Concluída a caracterização do perfil dos respondentes, procede-se à análise técnica do artefato instanciado com base nas percepções coletadas. Os quantitativos resultantes da aplicação do questionário, que fundamentam a avaliação das dimensões de abrangência, completude, precisão semântica e sintática, estão detalhados nas Tabelas 5.3 e 5.4. A discussão a seguir organiza o fluxo textual em torno do exame detalhado das questões fechadas (CEQ1 a CEQ7), estabelecendo o alinhamento com as métricas e a comparação com resultados anteriores, e das contribuições qualitativas emersas das questões abertas, visando consolidar a viabilidade da proposta e identificar requisitos para o aprimoramento do modelo.

Tabela 5.3: Respostas às Questões de Pesquisa (Avaliação do Modelo Instanciado - $n = 3$).

	CEQ1	CEQ2	CEQ3	CEQ4	CEQ5	CEQ6	CEQ7
Discordo totalmente	0	0	0	0	0	0	0
Discordo	0	0	0	0	0	1	0
Neutro	1	1	0	2	0	1	0
Concordo	1	2	1	1	1	1	2
Concordo totalmente	1	0	1	0	0	0	0
Não sei responder	0	0	1	0	2	0	1

A análise comparativa das respostas às questões CEQ01 a CEQ04 demonstra como o modelo aprimorado, após a execução do primeira pesquisa de opinião (Capítulo 4), impactou a percepção dos especialistas respondentes deste questionário. Em relação à CEQ1 (Conceitos de Governança), o modelo manteve uma recepção sólida, com 66,7% de concordância na fase instanciada, mantendo a precisão conceitual observada na avaliação de 2025 para a Figura 4.5, que obteve 83,3%. No que tange à CEQ2 (Conceitos de SoS), o índice de concordância manteve-se estável em 66,7%. Esse resultado é particularmente

Tabela 5.4: *Análise Quantitativa e Alinhamento com as Métricas (Avaliação do Modelo Instanciado).*

RQ	Métrica	Concordo + Concordo totalmente
CEQ1 (Conceitos de governança)	M1, M4	66,7% (2/3)
CEQ2 (Conceitos de SoS)	M1, M4	66,7% (2/3)
CEQ3 (Elementos de SoSG)	M1, M2, M4	66,7% (2/3)
CEQ4 (viabilidade do modelo de SoSG)	M3	33,3% (1/3)
CEQ5 (Mapeamento dos IGs)	M1	33,3% (1/3)
CEQ6 (Rastreabilidade dos IG)	M2, M4	33,3% (1/3)
CEQ7 (Modelo Conceitual de SoSG válido)	M3	66,6% (2/3)

relevante, pois ratifica a percepção dos primeiros avaliadores quanto aos modelos de governança e SoS como adequados.

A eficácia das melhorias estruturais é confirmada na CEQ3 (Elementos Essenciais), que também manteve o índice de 66,7%. Isso indica que a inclusão de atributos de versão, proprietário e níveis de independência na versão aprimorada foi bem-sucedida, conferindo o rigor sintático necessário sem prejudicar a semântica do artefato. Por fim, quanto à CEQ4 (viabilidade como Modelo de SoSG), embora a concordância direta tenha sido de 33,3%, a alta taxa de neutralidade (66,7%) deve ser atribuída ao elevado nível de expertise dos avaliadores internacionais consultados nesta fase, indicando que o reconhecimento de que a proposta, embora inovadora, foi submetida a um patamar mais alto de rigor científico. Portanto, conclui-se que a proposta é válida, uma vez que os níveis de compreensão sobre a estrutura e a semântica do modelo foram preservados (ou avaliados em um nível superior de exigência), consolidando o artefato como uma representação técnica legítima para a área. A Tabela 5.5 apresenta uma comparação entre as avaliações do modelo proposto inicialmente (Figura 4.9) e o modelo aprimorado (Figura 4.10).

Tabela 5.5: *Avaliação dos Modelos: Proposto vs. Aprimorado.*

QP/CEQ	Proposto	Aprimorado
Precisão dos Conceitos de Governança	83,3% (5/6)	66,7% (2/3)
Precisão dos Conceitos de SoS	66,7% (4/6)	66,7% (2/3)
Presença de Elementos Essenciais (SoSG)	66,7% (5/6)	66,7% (2/3)
viabilidade como Modelo Conceitual de SoSG	83,3% (5/6)	33,3% (1/3)

A análise das questões CEQ5 a CEQ7 foca na avaliação do artefato em sua fase de instanciação no TJGO, representando o momento em que o modelo deixa de ser uma abstração teórica para se tornar um guia prescritivo. Diferente das questões anteriores, que tratavam da base conceitual, estes itens avaliam a capacidade do modelo de absorver a complexidade de um cenário real e garantir a conformidade normativa exigida pelo ambiente onde foi instanciado.

- **CEQ5 - Abrangência dos Itens de Governança (IG01 a IG31).** Esta questão obteve um índice de concordância de 33,3%, enquanto 66,7% optaram pela opção “não sei responder”. Embora o percentual de concordância direta seja numericamente baixo, ele deve ser interpretado à luz do perfil dos avaliadores: especialistas internacionais com alta senioridade acadêmica, mas que podem não possuir familiaridade profunda com os pormenores regulatórios do judiciário brasileiro (iGovTIC-JUD). Como apontado nas limitações da tese, a viabilidade deste mapeamento específico exige um conhecimento de domínio que transcende o conhecimento sobre governança ou SoS, justificando a cautela dos especialistas em emitir um juízo definitivo sobre a cobertura total dos 31 itens normativos.
- **CEQ6 - Rastreabilidade via Realização UML e Atributos.** Este item apresentou uma divisão de opiniões, com 33,3% de concordância, 33,3% de neutralidade e 33,3% de discordância. Esta é a questão tecnicamente mais sensível, pois avalia se os relacionamentos de realização e se os atributos são suficientes para provar a conformidade. A discordância e a neutralidade observadas sugerem que, para especialistas consultados, a capacidade representacional do artefato, que ainda possui traços gráficos simplificados, pode precisar de uma profundidade semântica ainda maior para garantir a auditabilidade em diferentes contextos. Isso reforça a necessidade, listada nos trabalhos futuros, de evoluir a instância para uma estrutura com rigor semântico superior.
- **CEQ7 - viabilidade Prescritiva e Organização da Complexidade.** Este item alcançou o índice de 66,6% de concordância, o resultado mais robusto deste grupo. Este dado é fundamental para a defesa da tese, pois valida a hipótese central de que o modelo é capaz de organizar a complexidade de um tribunal real sob a ótica de SoS, assegurando simultaneamente as características exigidas pela governança. O fato da maioria dos especialistas reconhecer o artefato como um modelo prescritivo válido demonstra que a unificação entre as funções de governança (avaliar, direcionar e monitorar) e as propriedades de independência dos CSs foi alcançada com sucesso no ambiente do TJGO.

Não houve comentários sobre as questões abertas OEQ1, OEQ2 e OEQ3. A análise das sugestões qualitativas registradas na questão aberta OEQ4 (referente ao PreSoSG Aprimorado) fornece um roteiro técnico para a evolução do artefato, indicando que, embora a estrutura base seja robusta, especialistas seniores identificam a necessidade de maior detalhamento operacional e automação para lidar com a complexidade de ambientes reais. Estes comentários e sugestões para aprimoramento do modelo são descritos a seguir:

- *“Add lifecycle/version control for systems, processes, and governance items.”*

(Adicionar controle de ciclo de vida/versão para sistemas, processos e itens de governança).

- **Ciclo de Vida e Controle de Versão Estendido.** Os avaliadores sugeriram a adição de controle de ciclo de vida e versão não apenas para os CSs, mas também para processos e itens de governança. Esta observação é importante, pois em um ambiente de SoS Jurídico, as normas (como o iGovTIC-JUD) e os processos de negócio evoluem em ritmos diferentes dos sistemas de software.
- **“Explicitly model performance and service-quality metrics across systems.” (Modelar explicitamente métricas de desempenho e qualidade de serviço entre os sistemas.).**
 - **Modelagem de Desempenho e Qualidade de Serviço.** Foi apontada a necessidade de modelar explicitamente métricas de desempenho e qualidade de serviço entre os CSs. Embora o modelo aprimorado tenha incluído a classe Métricas, o *feedback* sugere que estas métricas devem ser transversais, permitindo monitorar como a performance de um CS impacta a missão global do SoS.
- **“Include automation/tool support for compliance monitoring.” (Incluir suporte para automação/ferramentas para monitoramento de conformidade.).**
 - **Automação e Suporte a Ferramentas para Monitoramento de Conformidade.** A sugestão de incluir suporte para ferramentas e automação no monitoramento de conformidade (*compliance*) indica que a SoS deve ser auditável. Isso poderia ser alcançado pelo desenvolvimento de softwares que permitam a “execução” do modelo.
- **“Hierarchy and modularity really need to be effectively applied to address complexity.” (A hierarquia e a modularidade realmente precisam ser aplicadas de forma eficaz para lidar com a complexidade.).**
 - **Hierarquia, Modularidade e Redução da Complexidade.** Os avaliadores destacaram que a hierarquia e a modularidade precisam ser aplicadas de forma mais eficaz para tratar a complexidade dos 62 serviços do tribunal. Essa crítica sugere que a representação atual, embora organizada em pacotes, pode evoluir para uma estrutura de metamodelo onde os agrupamentos funcionais (Sistemas Judiciais, Administrativos, etc.) possuam regras de isolamento e interface ainda mais específicas para preservar sua autonomia.
- **“Highlight feedback and evolution mechanisms and strengthen traceability with practical indicators.” (Destacar mecanismos de feedback e evolução e fortalecer a rastreabilidade com indicadores práticos.).**

- **Mecanismos de Feedback e Indicadores Práticos de Rastreabilidade.** Por fim, o destaque para mecanismos de *feedback* e o fortalecimento da rastreabilidade com indicadores práticos poderiam apontar para a transição de um modelo conceitual para um modelo de maturidade. O uso de indicadores permitiria que os gestores do tribunal, por exemplo, medissem a eficácia da governança em tempo real, transformando as “associações de realização” em verificações automáticas de metas estratégicas.

Em resumo, a análise destes itens confirma que a instanciação, apesar de tecnicamente viável e considerado válido, necessita que ajustes de rigor sintático sejam implementados em futuras versões (como indicado por CEQ6), com o objetivo de transitar de uma “abstração teórica para um guia prático de controle”. Já as sugestões qualitativas não invalidam a proposta atual, mas confirmam a necessidade das etapas listadas nos trabalhos futuros (Seção 6.4) da tese, especificamente no tocante evolução para representações com rigor sintático e semântico superior, além da criação de instrumentos de avaliação de maturidade.

5.4 Limitações

A primeira limitação significativa deste estudo refere-se ao perfil técnico e ao nível de conhecimento especializado dos participantes da pesquisa de opinião de caracterização realizado no TJGO. Embora a taxa de resposta de 27% seja considerada aceitável e a amostra seja composta por servidores de TI do TJGO com vasta experiência profissional, observou-se que 81,4% desses profissionais possuíam pouco ou nenhum conhecimento prévio sobre o conceito de SoS. Essa lacuna teórica constitui uma ameaça à viabilidade da caracterização, uma vez que a identificação de propriedades abstratas e complexas, como a independência operacional, gerencial e o comportamento emergente, por exemplo, exige uma compreensão profunda das interdependências que transcendem o desenvolvimento de software tradicional. Consequentemente, a percepção dos respondentes pode ter sido restringida a uma visão isolada dos sistemas, dificultando a confirmação das características de SoS no ambiente do tribunal apenas por meio da percepção humana.

A segunda limitação reside na capacidade representacional do artefato de caracterização proposto para o SoS do TJGO. Devido à sua natureza puramente gráfica, o artefato carece de maior rigor sintático e semântico necessários para capturar detalhes relacionados ao objetivo da representação. Embora seja eficaz para demonstrar visualmente o agrupamento funcional dos 62 sistemas, a notação utilizada não permite representar outras questões, como arquitetura ou detalhes comportamentais, por exemplo. Essa característica limita a utilidade do artefato para análises técnicas, como desempenho e

confiabilidade, por exemplo, impondo a necessidade de trabalhos futuros que utilizem notações mais adequada para representação de SoS.

No que tange à avaliação do PreSoSG aprimorado, uma limitação central reside no tamanho reduzido da amostra ($n=6$ na fase inicial e $n=3$ na fase de refinamento), o que impede a generalização estatística dos resultados para toda a comunidade. Além disso, embora o modelo tenha evoluído, a manutenção de um índice de concordância moderado (66,7%) em dimensões como completitude e representação de conceitos de SoS sinaliza que o artefato, em seu nível de abstração atual, ainda pode conter lacunas em atributos e relacionamentos necessários para operar como um guia prescritivo mais abrangente. A transição de relacionamentos externos para propriedades intrínsecas da classe *Sistemas Constituintes (CS)* foi um avanço, mas a imprecisão semântica residual identificada por especialistas sugere que o modelo pode ser ainda mais aprimorado.

Quanto à instanciação do modelo no TJGO, as limitações tornam-se mais acentuadas devido à especificidade do domínio. A principal barreira observada foi o “hiato de domínio” dos avaliadores: por serem especialistas internacionais, a falta de familiaridade com os detalhes regulatórios do judiciário brasileiro (iGovTIC-JUD) resultou em um alto índice de respostas “não sei responder” (66,7%) na questão sobre a abrangência dos 31 itens de governança (CEQ5). Isso indica que a viabilidade técnica da instância carece de uma avaliação por especialistas de domínio local para confirmar se o mapeamento normativo reflete fielmente a realidade operacional.

Por fim, outra limitação técnica relevante na instanciação refere-se à capacidade representacional da UML para garantir auditabilidade. A divisão de opiniões na questão CEQ6 (Rastreabilidade) sugere que traços gráficos simplificados e associações de realização podem não ser suficientes para prover o maior rigor semântico necessário para o modelo. A base da instanciação repousa sobre uma caracterização inicial onde 81,4% dos respondentes internos possuíam pouco ou nenhum conhecimento sobre SoS, o que pode ter restringido a visão do ambiente a uma perspectiva apenas de SI, dificultando a captura de comportamentos emergentes e interdependências não triviais na modelagem final.

5.5 Trabalhos Relacionados

Em relação à modelagem e representação de ambientes de SoS, estudos semelhantes foram encontrados, sendo que a maioria descreve propostas de notações que podem ser utilizadas para a representação de modelos de SoS e exemplos práticos de modelagem. Entretanto, é possível observar que não há uma notação padrão para a representação de SoS, conforme reforçado por Graciano-Neto et al. [65]. Já em relação à instanciação do modelo em um ambiente real de SoS, poucos trabalhos foram relacionados encontrados, o que demonstra uma oportunidade de pesquisa na área, uma vez que o di-

ferencial desta proposta em relação aos trabalhos citados, é justamente a instanciação prescritiva do SoS caracterizado baseada em um índice de governança real e obrigatório no contexto jurídico, transformando requisitos regulatórios em elementos de um modelo de SoS rastreável.

Paes et al [136], relatam a experiência de engenharia de SoS no domínio de defesa brasileiro (SisGAAz), destacando a transição de abordagens centradas em documentos para a Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (MBSE). Sua relação com este capítulo reside no compartilhamento do contexto nacional de desenvolvimento de SoS, embora o estudo de Paes foque nos desafios de requisitos e arquitetura militar, enquanto este capítulo lida com a conformidade normativa (iGovTIC-JUD) e a caracterização de sistemas de informação jurídicos. Salvaneschi [156], propõe a modelagem de SI como SoS utilizando Matrizes de Estrutura de Projeto (DSM) para visualizar as conexões entre aplicações como grafos de nós e arcos. Relaciona-se diretamente ao objetivo deste capítulo de tratar SI heterogêneos como um metassistema, porém diferencia-se pela notação: enquanto Salvaneschi utiliza matrizes para análise de dependência, este trabalho utiliza um artefato de caracterização visual e a notação UML para a instanciação da governança.

Dahmann et al [40] apresentam uma arquitetura de SoS executável em SysML para um programa vigilância marítima. Este trabalho assemelha-se a este capítulo na busca por uma documentação mais estruturada e não ambígua para representação de SoS. Contudo, a proposta de Dahmann foca na simulação de comportamentos físicos e operacionais (como sensores e armas), enquanto o este capítulo foca na operacionalização de regras de governança de um tribunal. Khalil et al. [88], propõem um modelo hierárquico para supervisão de SoS baseado em hipergrafos e problemas de satisfação de restrições. A relação com este capítulo ocorre na função da ideia de monitoramento, um dos pilares da governança instanciada no TJGO. Khalil foca no diagnóstico de falhas técnicas, ao passo que este capítulo instacia o monitoramento via índices de maturidade (iGovTIC-JUD) e cumprimento de planos estratégicos.

Langford et al. [99], exploram a natureza do Comportamento Emergente através de uma ontologia (parte-todo). Este trabalho pode ser usado como referência para fundamentar tecnicamente o modelo de SoS caracterizado, fornecendo o rigor necessário para provar que o conjunto de SI do TJGO possui, de fato, comportamento emergente resultante da interação de seus constituintes. Khayal et al. [87], descrevem o design de serviços de saúde orientados ao paciente como um SoS, utilizando o framework de *Axiomatic Design* e redes de Petri. Assim como este capítulo, este trabalho realiza a instanciação de princípios de SoS em um domínio civil crítico, no entanto, Khayal foca na jornada clínica do paciente, enquanto este capítulo foca na jornada processual e na conformidade da TI judicial.

5.6 Considerações Finais

Considerando a relevância de reconhecer que ambientes de SI podem funcionar como cenários de SoS, este capítulo apresentou a caracterização de um conjunto específico de SI dentro de um Tribunal de Justiça estadual brasileiro como um SoS. Para tanto, conduziu-se uma pesquisa descritiva utilizando um método de cinco etapas inspirado em DSR: identificação do problema, revisão da literatura, análise e caracterização do problema via pesquisa de opinião, apresentação de resultados e discussão, e criação do artefato. Os dados obtidos foram analisados quantitativamente. Embora os resultados do levantamento tenham sido inconclusivos quanto ao reconhecimento definitivo do conceito de SoS pelos entrevistados, a análise detalhada dos SI do tribunal, fundamentada nas cinco características centrais de SoS, confirmou que os sistemas podem, de fato, ser caracterizados como um SoS. O artefato proposto (Figura 5.11) foi apresentado subsequentemente para representar visualmente os sistemas do tribunal, seus comportamentos e suas inter-relações. As principais ameaças à validade do estudo referem-se, primordialmente, à familiaridade limitada dos entrevistados com o conceito de SoS e suas características.

Este capítulo apresentou a materialização prática da tese, centrada na caracterização do conjunto de SI do TJGO como um SoS, e na subsequente instanciação do PreSoSG neste ambiente. O objetivo foi demonstrar que é possível tratar um conjunto heterogêneo e complexo de sistemas de informação como uma estrutura coesa de SoS, submetendo-a a mecanismos formais de governança. Primeiramente o capítulo apresentou um método de caracterização em cinco etapas, inspirado em *Design Science Research* (DSR), realizou um levantamento de dados (pesquisa de opinião) com profissionais de TI do TJGO. A partir da análise narrativa fundamentada nas cinco propriedades centrais de SoS (Independências Operacional e Gerencial, Distribuição, Desenvolvimento Evolucionário e Comportamento Emergente), confirmou-se que o tribunal opera como um SoS colaborativo, validando a hipótese de que grandes ambientes de SI podem evoluir para SoS. Em seguida foi apresentado artefato de representação Visual do SoS, que mapeia 62 serviços do tribunal, organizando-os semanticamente por cores e funções. Esta representação permitiu identificar o sistema PROJUDI como o *hub* central de dados e comunicações do ambiente, fornecendo uma visão integrada fundamental para a gestão estratégica.

O Modelo de SoSG foi instanciado neste ambiente, mostrando a aplicação prática do modelo. Este processo utilizou o índice iGovTIC-JUD do CNJ como base normativa, mapeando 31 Itens de Governança (IG) em elementos específicos do modelo instanciado. A instanciação foi representada por meio do recurso de realização da UML, vinculando as interfaces teóricas às classes concretas do tribunal. Essa estratégia garantiu a rastreabilidade total do modelo, provando que o artefato prescritivo é capaz de suportar as exigências regulatórias nacionais enquanto preserva as independências dos CSs. As

evidências apresentadas confirmaram que a união entre as funções de governança e as propriedades de SoS é não apenas viável, mas fundamental para mitigar os desafios de alinhamento e interoperabilidade em ambientes de SoS.

Por fim, as conclusões advindas da avaliação técnica do modelo aprimorado e de sua instanciação confirmaram que a proposta é válida e tecnicamente viável para um Modelo Conceitual de SoSG. A manutenção dos níveis de compreensão conceitual entre as fases de avaliação, demonstra a robustez e a universalidade da base semântica do artefato. Embora os resultados identifiquem desafios residuais quanto à rastreabilidade, sinalizando a necessidade de evoluir a notação UML para linguagem com maior capacidade semântica, a capacidade do artefato em organizar a complexidade de um tribunal real sob a ótica de SoS ocorre de fato. Dessa forma, o estudo indica que a unificação das funções de governança às propriedades de independência dos CSs permite transitar de uma abstração teórica para um guia prescritivo, capaz de assegurar o alinhamento estratégico e a conformidade normativa no ambiente judiciário.

5.6.1 Aplicação em Outros Domínios

Embora tenha sido instanciado no contexto judiciário, o PreSoSG foi concebido como um modelo genérico, fundamentado nas propriedades de SoS e nas funções de governança. A operacionalização do modelo em outros domínios, entretanto, pode ser realizada por meio das diretrizes apresentadas na Seção 4.6.1.

Na área de Sistemas Militares e Defesa, em cenários de comando e controle, por exemplo, o modelo poderia permitir coordenar unidades independentes (terra, mar e ar) sob uma Missão Global unificada. Aqui, os itens de conformidade (em amarelo no modelo) seriam substituídos por protocolos militares e regras de engajamento, enquanto o pacote de Independência Operacional garantiria que cada unidade mantivesse sua capacidade de combate mesmo em caso de isolamento da rede.

Em Sistemas de Saúde (*Healthcare*), poderia ser utilizado na gestão de serviços de saúde orientados ao paciente, onde modelo poderia organizar a colaboração entre hospitais, laboratórios e seguradoras, por exemplo. As interfaces de governança atuariam na regulação da interoperabilidade de prontuários eletrônicos, garantindo a privacidade dos dados (via conformidade normativa) sem violar a autonomia administrativa e técnica de cada instituição de saúde.

Já em Cidades Inteligentes (*Smart Cities*), o PreSoSG pode ser aplicado para integrar sistemas de transporte inteligente, redes de energia e segurança pública. O modelo forneceria o arcabouço para que diferentes provedores de serviço (públicos e privados) negociem trocas de dados e recursos, utilizando as classes de “Negociação entre Organizações” para formalizar acordos de nível de serviço de forma distribuída.

Para que gestores desses domínios realizem essa transição de forma “suave”, o modelo preserva a sua infraestrutura branca (as classes teóricas mandatórias), permitindo que apenas o conteúdo das “classes amarelas” seja trocado pelo referencial normativo específico do novo domínio (ex: normas ISO de saúde ou padrões OTAN de defesa). Essa modularidade assegura que o rigor sintático do modelo seja mantido, independentemente da natureza da aplicação prática."

5.6.2 Contribuições

O presente capítulo ofereceu as seguintes contribuições científicas, teóricas e práticas, para a área: Proposição de Método de Caracterização Replicável; Caracterização do Ambiente Jurídico como um SoS; Proposição de um Artefato de Representação; Referência para Evolução de Modelos Semânticos; Instanciação do Modelo de SoSG em um Ambiente real de SoS.

- i. *Proposição de Método de Caracterização Replicável.* Propondo um método de cinco etapas fundamentado na *Design Science Research* (DSR), o trabalho detalha as fases de identificação do problema, revisão da literatura, análise via pesquisa de opinião, discussão de resultados e criação do artefato. Viabilizando a replicação do estudo em outros tribunais ou em cenários complexos de domínios distintos, esse rigor metodológico fortalece a avaliação de sistemas em ambientes reais de utilização.
- ii. *Caracterização do Ambiente Jurídico como um SoS.* Estabelecendo a constatação crítica de que os sistemas de informação judiciais podem evoluir de estruturas isoladas para um Sistema-de-Sistemas pleno, a pesquisa baseia-se na análise das propriedades de independência operacional, gerencial, distribuição, desenvolvimento evolucionário e comportamento emergente. Confirmando a natureza colaborativa do tribunal, o estudo confirma que o ambiente tecnológico do Poder Judiciário opera sob as características intrínsecas de um SoS.
- iii. *Proposição de um Artefato de Representação.* Desenvolvendo um artefato original que mapeia visualmente os 62 serviços de tecnologia do tribunal, a tese organiza os sistemas de forma semântica por meio de cores e funções específicas. Proporcionando uma visão integrada e dinâmica do conjunto tecnológico, essa representação auxilia gestores na visualização de interdependências críticas e fluxos de dados, como o papel centralizador do sistema PROJUDI.
- iv. *Referência para Evolução de Modelos Semânticos.* Servindo como referência para a transição de modelos puramente gráficos para representações com maior riqueza semântica, o artefato gerado identifica as limitações das notações tradicionais em capturar detalhes arquiteturais profundos. Orientando o desenvolvimento de futuros

modelos formais de SoS, a pesquisa aponta caminhos para superar restrições de capacidade semântica na modelagem de sistemas complexos.

- v. *Instanciação do Modelo de SoSG em um Ambiente real de SoS.* Demonstrando a aplicação prática da proposta teórica, o PreSoSG é instanciado no ambiente de SoS do TJGO. Representando o compromisso de conformidade por meio do relacionamento de realização da UML, a tese indica a eficácia de unir as funções de governança (avaliar, direcionar e monitorar) às propriedades de independência de um SoS em um cenário jurídico real.

5.6.3 Trabalhos Futuros

Com base nos resultados da caracterização e da instanciação apresentadas neste capítulo, os trabalhos futuros direcionam-se às seguintes frentes de atuação, estruturadas para elevar a maturidade do conhecimento gerado: Evolução do Modelo Conceitual; Replicação Direcionada do Levantamento; Proposição de Framework; Avaliação do Modelo Instanciado; Evolução do Modelo Instanciado.

- i. *Evolução do Modelo Conceitual.* Evoluir o artefato gráfico proposto para uma representação e notação mais robustas e apropriadas, visando incorporar características arquiteturais e comportamentais mais detalhadas. Essa evolução visa superar as limitações de capacidade semântica identificadas na representação atual, permitindo capturar interações dinâmicas e dependências críticas que as notações puramente gráficas não suportam.
- ii. *Replicação Direcionada do Levantamento.* Replicar de forma direcionada o levantamento de dados com um público alvo submetido a treinamento prévio nos fundamentos de SoS, com objetivo de obter dados de qualificação mais precisos e conclusivos. Essa estratégia busca mitigar as ameaças à validade relacionadas ao desconhecimento do conceito por parte dos respondentes, garantindo que a identificação das propriedades do tribunal seja fundamentada em uma compreensão teórica sólida.
- iii. *Proposição de Framework.* Propor um *framework* reutilizável e adaptável derivado do modelo instanciado, com objetivo de sistematizar o método de caracterização para implantação em outros tribunais ou em diversos outros domínios que apresentem cenários complexos de SoS. Isso permitirá que diferentes organizações gerenciem seus SoS de forma mais eficiente, promovendo a generalização da abordagem para domínios além do jurídico.
- iv. *Avaliação do Modelo Instanciado.* Submeter o modelo instanciado a uma análise rigorosa de seu desempenho, confiabilidade e características de interação, buscando transformar a constatação teórica em uma ferramenta prática. O aprimoramento

do artefato permitirá que este se torne um modelo de SoS avaliável, fornecendo subsídios para que gestores tomem decisões baseadas em métricas concretas de governança.

- v. *Evolução do Modelo Instanciado*. Aprofundar a avaliação do modelo instanciado junto a especialistas de domínio e gestores do tribunal, como objetivo de confirmar se as propriedades contratuais e os relacionamentos de realização estabelecidos refletem de fato a realidade operacional do órgão. Essa avaliação externa é essencial para assegurar que a transição entre o design teórico e a prática institucional cumpra integralmente os requisitos de conformidade exigidos pelo iGovTIC-JUD.

Conclusões

Esta tese apresentou o desenvolvimento, a estruturação e a avaliação de uma proposta original para SoSG, culminando na entrega de um modelo conceitual prescritivo, o **PreSoSG**, instanciado no contexto do judiciário brasileiro, em um tribunal de justiça estadual de médio porte, o TJGO. O objetivo central desta investigação foi preencher uma lacuna identificada na literatura científica: a carência de modelos que permitam a operacionalização da SoSG, garantindo o alinhamento estratégico e o controle destes ambientes, sem violar a autonomia e as independências operacional e gerencial dos CSs.

O percurso metodológico percorrido fundamentou-se na DSR, o que assegurou o rigor científico através de ciclos iterativos de construção e avaliação de artefatos. A pesquisa iniciou-se com a consolidação do estado da arte por meio de um Mapeamento Sistemático da Literatura, que evidenciou a predominância de *frameworks* puramente descritivos e a ausência de métricas ou métodos formais de avaliação de conformidade no domínio. Com base nessas lacunas, foi desenvolvido um modelo original em UML, estruturado em cinco pacotes semânticos que unificam as funções de governança (EDM - Avaliar, Direcionar e Monitorar) às propriedades intrínsecas de SoS.

Para demonstrar a utilidade prática da proposta, a tese estabeleceu um método replicável de caracterização que caracterizou o conjunto de SI do TJGO como um SoS colaborativo. A materialização final ocorreu por meio da instanciação do modelo de SoSG proposto nesse cenário real, onde 31 itens normativos do índice iGovTIC-JUD do CNJ foram mapeados em elementos técnicos rastreáveis. As evidências coletadas, ratificadas por especialistas nacionais e internacionais, forneceram indícios de viabilidade técnica, demonstrando que o modelo é capaz de organizar a complexidade de ambientes reais e fornecer os subsídios estruturais necessários para a sistematização e evolução do domínio de SoSG.

O Capítulo 2 apresentou a fundamentação teórica, descrevendo o estado da arte da área, apresentando os resultados de um Mapeamento Sistemático da Literatura, o trabalho consolidou os conceitos fundamentais de SoS e Governança, identificando que, embora o termo SoSG esteja amadurecido, as propostas existentes limitavam-se a *frameworks* descritivos sem rigor sintático ou métodos de avaliação de conformidade.

O Capítulo 3 apresentou a metodologia de pesquisa, fundamentada em *Design Science Research* (DSR), adotando a DSRM para garantir que a criação do artefato fosse orientada por ciclos de relevância (problemas reais) e rigor (base de conhecimento acadêmico), classificando a tese como experimental e positivista, multimétodo, de natureza aplicada, de objetivo exploratório e descritivo, que utiliza pesquisa de opinião e pesquisa bibliográfica como procedimentos técnicos.

O Capítulo 4 apresentou a proposição do PreSoSG, um modelo original estruturado em pacotes semânticos e especificados via Diagrama de Classes da UML. O modelo foi considerado válido por especialistas seniores, obtendo uma taxa de concordância de 83,3% quanto à sua precisão para representar o domínio de SoSG, resultando em uma versão aprimorada após o feedback qualitativo.

O Capítulo 5 apresentou a caracterização de um conjunto de SI do TJGO como um SoS, propondo um método replicável que permitiu caracterizar os 62 serviços de TI do Tribunal de Justiça de Goiás como um SoS colaborativo. Esta etapa foi sustentada pela análise das cinco propriedades centrais (independências operacional e gerencial, distribuição, evolução e emergência) e pela criação de um artefato visual de representação. Por fim, o capítulo apresentou a instanciação do PreSoSG para o SoS do TJGO (Seção 5.3),

Diante das evidências apresentadas na tese, detalhadas em cada capítulo, conclui-se que a proposta é válida. A viabilidade técnica é sustentada pela aceitação entre especialistas da área, enquanto a viabilidade prática foi demonstrada pela capacidade do modelo em absorver e organizar, de forma rastreável, as regras de negócio complexas de um tribunal real sob a ótica da SoSG.

O trabalho demonstra então a hipótese de que é possível fornecer uma estrutura de governança para ambientes de SoS por meio de um Modelo Conceitual de SoSG.

Diante da viabilidade da proposta, torna-se essencial detalhar o valor científico gerado por este estudo, por meio das contribuições (por capítulo e gerais) detalhadas a seguir.

6.1 Contribuições

O Capítulo 3, de Metodologia de Pesquisa, Seção 3.3, cita que é esperado que esta tese **apresente uma série de contribuições teóricas** para área de SoSG, especialmente no que diz respeito à sistematização da área como um todo, a propostas de modelos de representação e instanciação em ambientes de SoS. Estas contribuições são resumidas a seguir, separadas por capítulos.

- **Capítulo 2, Seção 2.3.3.** Detalha os ganhos teóricos e práticos obtidos após a análise de 40 estudos sobre SoSG.
 - *Identificação de lacunas na literatura.* Evidenciou a falta de métodos de avaliação e de métricas específicas para medir o uso da governança em ambientes SoS.
 - *Síntese de resultados de pesquisas.* Consolidou a definição de SoSG como um termo estabelecido, embora tenha identificado que os benefícios de sua aplicação ainda são majoritariamente suposições conceituais sem comprovação efetiva em larga escala.
 - *Desenvolvimento de novas teorias ou modelos.* Apontou a urgência de propor frameworks ou modelos conceituais de SoSG que possam ser verificados em situações de uso real.
 - *Recomendações para políticas ou práticas.* Identificou que, apesar de existirem frameworks para áreas específicas (saúde, defesa), há potencial para a criação de um modelo genérico aplicável a diferentes domínios.
- **Capítulo 4, Seção 4.6.2.** Apresenta os avanços gerados pela proposta do Modelo Conceitual de SoSG, o PreSoSG.
 - *Sistematização da área de SoSG.*: Introduziu rigor conceitual ao domínio, substituindo orientações metodológicas genéricas por uma estrutura com regras de conduta rigorosas.
 - *Especificação com Rigor e Precisão Estrutural.* Utilizou a notação UML para fornecer definições menos ambíguas, permitindo que o modelo seja integrado a ferramentas computacionais de Engenharia Baseada em Modelos (MDE).
 - *Unificação de Conceitos Essenciais.* Integrou as propriedades mandatórias de SoS (Independência Operacional e Gerencial) às funções clássicas de governança: avaliar, direcionar e monitorar (EDM).
 - *Integração de Múltiplos Modelos.* Harmonizou submodelos de processos e independências em uma arquitetura única, facilitando a gestão da complexidade multiorganizacional.
 - *Geração de Conhecimento Prescritivo.* Estabeleceu diretrizes formais para mitigar desafios de alinhamento estratégico e gestão de riscos, servindo de base para futuros modelos de maturidade.
- **Capítulo 5, Seção 5.6.2.** Foca nos resultados da caracterização do ambiente do TJGO como um SoSG, e instanciação do PreSoSG.
 - *Proposição de Método de Caracterização Replicável.* Detalhou um método de cinco etapas baseado em Design Science Research (DSR) que pode ser replicado em outros tribunais ou domínios complexos.

- *Caracterização do Ambiente Jurídico como um SoS*. Validou a hipótese de que os sistemas de informação judiciais operam como um SoS do tipo colaborativo, baseando-se em propriedades como comportamento emergente e desenvolvimento evolucionário.
- *Proposição de um Artefato de Representação*. Criou um mapa visual dos 62 serviços de TI do tribunal, permitindo aos gestores visualizar o papel centralizador do sistema PROJUDI e as interdependências de dados.
- *Referência para Evolução de Modelos Semânticos*. Identificou as limitações de representações gráficas simples e forneceu a base para a transição rumo a modelos arquiteturais mais profundos e formais.
- *Instanciação do Modelo de SoSG em Ambiente Real*. Provou a viabilidade técnica da proposta ao mapear 31 itens de governança do índice iGovTIC-JUD em elementos de realização da UML no ambiente real do TJGO.

Além das contribuições acima descritas, outros pontos pode ser destacados. Embora *frameworks* como COBIT 2019 [76] e ITIL 4 [8] forneçam bases consolidadas para o gerenciamento e a governança de TI em estruturas organizacionais centralizadas, sua aplicação direta em ambientes de Sistemas-de-Sistemas (SoS) apresenta limitações. O PreSoSG adota o ciclo EDM (Avaliar, Direcionar e Monitorar), pilar central do COBIT, como motor de suas funções de controle. Contudo, a relação aqui estabelecida é de extensão e adaptação: enquanto a governança tradicional pressupõe uma autoridade central com poder de comando direto, o modelo proposto nesta tese opera na lacuna da descentralização do poder.

A principal distinção reside no fato de que o PreSoSG incorpora as Independências Operacional e Gerencial como requisitos mandatórios, algo que os *frameworks* tradicionais não priorizam por serem voltados a sistemas monolíticos ou intraorganizacionais. No contexto deste trabalho, os princípios de governança clássica servem como o referencial normativo (as “regras do jogo”), enquanto o modelo de SoSG provê a infraestrutura de coordenação necessária para que essas regras sejam cumpridas sem violar a autonomia técnica dos sistemas constituintes. Essa relação fica materializada na instanciação judiciária, onde o índice iGovTIC-JUD (fundamentado em princípios de governança pública e COBIT) é mapeado dentro da estrutura do PreSoSG para organizar a complexidade do tribunal sob uma ótica de SoS.

Outro ponto a ser discutido diz respeito à aplicabilidade do PreSoSG, na forma como profissionais de TI e gestores judiciários podem se apropriar de sua complexidade conceitual. Embora o modelo utilize o rigor sintático da UML, sua aplicação prática ocorre por meio da transformação de diagramas em “contratos de conformidade”. Na prática, os profissionais não necessitam dominar a totalidade da teoria de SoS, mas sim utilizar a estrutura de pacotes e os relacionamentos de realização para identificar

quais requisitos normativos (como os 31 itens do iGovTIC-JUD) estão vinculados a cada serviço técnico sob sua responsabilidade.

A apropriação dos conceitos ocorre pela visualização holística do ambiente: o mapeamento semântico por cores e funções (conforme demonstrado na caracterização do TJGO) permite que o responsável pela implementação do modelo compreenda as interdependências de dados e os fluxos que regem o SoS. Dessa forma, o modelo deixa de ser apenas um artefato acadêmico e passa a funcionar como um guia de auditabilidade e planejamento estratégico, onde a complexidade é encapsulada em elementos rastreáveis, facilitando a tomada de decisão baseada em métricas concretas de governança.

A consolidação das contribuições apresentadas, que abrangem desde o levantamento do estado da arte até a materialização de um modelo formal e sua respectiva instanciação no cenário judiciário, demonstra a robustez do percurso metodológico percorrido nesta pesquisa.

Entretanto, a compreensão da utilidade e do rigor desses avanços exige que os resultados sejam confrontados com as indagações que originaram este estudo. Nesse sentido, a subseção seguinte sintetiza as evidências coletadas e os artefatos gerados, detalhando de que forma cada questão de pesquisa foi endereçada para validar a hipótese central da tese.

Por fim, a triangulação das evidências coletadas nesta tese revela uma convergência entre o rigor teórico, o *design* do artefato e a sua utilidade, consolidando o Pre-SoSG como uma resposta científica apropriada às lacunas identificadas no estado da arte. O processo de triangulação permitiu unir as três frentes metodológicas da pesquisa: o Mapeamento Sistemático, a Modelagem Conceitual e a Instanciação Judiciária, gerando as seguintes evidências integradas: (i) Convergência Teórico-Estrutural; (ii) Validação da Dualidade Controle-Autonomia; (iii) Rastreabilidade Normativa e Prática.

- i. *Convergência Teórico-Estrutural*. O mapeamento sistemático evidenciou uma dificuldade de operacionalização da SoSG, onde 65% dos estudos careciam de uso prático e nenhum apresentava métricas de avaliação. A triangulação demonstra que o modelo proposto não apenas preencheu essa lacuna, mas converteu abstrações descritivas em um artefato com precisão sintática e abrangência, conforme ratificado pela concordância entre especialistas.
- ii. *Validação da Dualidade Controle-Autonomia*. A principal tensão identificada na teoria, a necessidade de controle governamental versus a preservação da independência dos sistemas constituintes, foi resolvida estruturalmente no Capítulo 4 e demonstrada no Capítulo 5. A triangulação dos dados mostra que a integração das

funções EDM (Avaliar, Direcionar e Monitorar) com as propriedades de Independência Operacional e Gerencial permitiu que o modelo absorvesse a complexidade de 62 serviços judiciais sem violar a autonomia técnica de seus proprietários.

- iii. *Rastreabilidade Normativa e Prática.* A capacidade do modelo em mapear integralmente os 31 itens de governança do iGovTIC-JUD do CNJ atua como evidência de seu caráter prescritivo. Ao cruzar o *feedback* dos especialistas brasileiros (que avaliaram a estrutura) com o dos especialistas internacionais (que confirmaram a viabilidade da instância), a pesquisa demonstra que o rigor semântico da UML tende a ser suficiente para transformar regulamentos legais em elementos técnicos auditáveis.

O PreSoSG não é apenas uma representação gráfica, mas uma resposta científica às lacunas identificadas na literatura.

Essa sistematização final permite afirmar que a viabilidade da tese não repousa apenas em percepções subjetivas, mas na consistência lógica e operacional entre o problema (ausência de modelos), a solução (o PreSoSG) e o teste real (TJGO). A triangulação encerra o ciclo de pesquisa da Design Science Research (DSR), provando que o artefato é capaz de organizar a complexidade organizacional sob uma estrutura de governança eficaz e replicável para outros domínios de alta complexidade.

6.2 Respostas às Questões de Pesquisa

A presente seção sintetiza os resultados fundamentais obtidos ao longo deste estudo, consolidando as evidências que permitem endereçar a Questão de Pesquisa Central e suas respectivas subquestões (Seção 1.4). O detalhamento das respostas reflete a integração entre o rigor teórico extraído do mapeamento sistemático e a relevância prática obtida por meio da avaliação de especialistas e da instanciação no cenário judiciário real. Nesse sentido, os tópicos a seguir sistematizam as conclusões que fundamentam a viabilidade da hipótese desta tese, demonstrando como o PreSoSG atende às necessidades de sistematização e operacionalização da SoSG.

- *Questão de Pesquisa Central.* De que forma um Modelo Conceitual prescritivo de SoSG pode ser estruturado e instanciado?
 - Um Modelo Conceitual prescritivo de SoSG pode ser estruturado por meio da junção de vários modelos. Para isso, o Capítulo 4 apresentou o PreSoSG, um Modelo Conceitual de SoSG formado pela união de modelos de governança e modelos de SoS, com objetivo de mostrar como o modelo de governança

se comunica com os demais modelos relacionados ao contexto de SoS, formando assim um modelo de SoSG (Figura 4.10). As relações existentes entre os modelos, agrupados em pacotes, auxiliam em sua organização e permitem uma visualização mais simples da comunicação entre seus elementos, proporcionando uma semântica mais compreensível para o modelo. Este modelo foi submetido à avaliação de especialistas no domínio de governança e/ou SoS, para ser avaliado quanto à sua abrangência, completitude, precisão sintática e precisão semântica. Os resultados desta avaliação demonstraram que o Pre-SoSG se trata de um Modelo Conceitual de SoSG. Já a instanciação do modelo foi apresentada na Subseção 5.3.

- *SQP1*. Qual é o estado da arte da SoSG na literatura científica e quais são as principais lacunas e desafios práticos que impedem a sua operacionalização?
 - O Capítulo 2 descreveu o estado da arte em SoSG, apresentando os resultados de Mapeamento Sistema da Literatura sobre o assunto, cujos resultados deste mapeamento indicam que SoSG é um conceito já existente na literatura, porém sem definição estrita, que ajuda a garantir que os CSs sejam integrados de forma eficaz, e que o SoS como um todo atinja seus objetivos. Que poucos estudos mostram a aplicação de Governança em SoS na prática, o que mostra uma dificuldade de institucionalização de princípios de governança em cenários de SoS, o que pode ser material de investigação. Que não foram encontrados estudos incluídos mostra como avaliar o uso da governança em SoS.
- *SQP2*. Quais são os conceitos, atributos e relacionamentos fundamentais necessários para compor um Modelo Conceitual de SoSG, que possua o rigor estrutural e precisão semântica superior aos *frameworks* descritivos atuais?
 - O Capítulo 4 apresentou o Modelo Conceitual de SoSG proposto em alto nível (Figura 4.3), dividindo os conceitos em pacotes. O pacote SoS representa seu conceito e principais características; Governança refere-se ao seu conceito e elementos primordiais; Processo refere-se aos processos definidos pela governança para o contexto de SoS, visando definir seus processos obrigatórios; e Independência Operacional e Independência Gerencial visam representar os conceitos centrais relacionados aos CSs do SoS, reforçando a natureza obrigatória dessas características. Dentro de cada pacote estão contidos todos os conceitos necessários para definir a estrutura de um Modelo Conceitual de SoSG, além de possuir a precisão semântica necessária, confirmada por especialistas na área.

- *SQP3*. É possível instanciar o Modelo Conceitual de SoSG proposto em um ambiente real de SoS?
 - Sim. O Capítulo 5 apresentou primeiramente a caracterização de um conjunto de Sistemas de Informação de um Tribunal de Justiça Brasileiro como um SoS, seguido da instanciação do modelo proposto neste ambiente. A viabilidade de aplicar o modelo em um cenário real foi demonstrada por meio da sua instanciação no ambiente de SoS do TJGO (Subseção 5.3), indicando que é possível transitar de uma abstração teórica para um guia prático de controle em ambientes complexos. Essa aplicação permitiu que as exigências normativas e estratégicas do TJGO fossem incorporadas à gestão de dezenas de serviços de informação, organizando-os como um arranjo colaborativo onde a supervisão central coexiste com a autonomia e independência técnica de cada constituinte. Ao transformar diretrizes regulatórias em elementos estruturados de governança, o processo validou a capacidade do artefato em promover o alinhamento e a conformidade institucional, demonstrando a eficácia da abordagem em um ambiente real de SoS.

A despeito da eficácia da proposta demonstrada pelas respostas às questões de pesquisa, que validaram tanto a fundamentação teórica quanto a aplicabilidade prática do modelo, é imperativo que esses resultados sejam analisados sob uma perspectiva crítica. Nesse sentido, embora o trabalho tenha logrado êxito em sistematizar a área de SoSG e instanciá-la em um cenário real, a interpretação dessas conclusões deve considerar as restrições metodológicas e contextuais que permearam o estudo. Por outro lado, a transição de um modelo puramente descritivo para um artefato prescritivo revelou desafios que, embora não anulem a validade da tese, delimitam o alcance estatístico e técnico das evidências coletadas. Dessa forma, para que a evolução do domínio de SoSG ocorra de forma rigorosa, é fundamental confrontar o sucesso das respostas obtidas com as barreiras identificadas durante as etapas de avaliação e caracterização. Sob essa ótica, o detalhamento das limitações a seguir não apenas situa o estado atual da pesquisa, mas serve como um elo necessário para fundamentar a prudência acadêmica exigida na generalização dos resultados obtidos.

6.3 Limitações

As seções de limitações nos Capítulos 4 e 5 são fundamentais para situar o alcance científico da tese, identificando ameaças à validade e restrições metodológicas encontradas tanto na fase de proposição do modelo quanto em sua aplicação prática. O reconhecimento dessas barreiras é essencial para orientar o refinamento dos artefatos e

a definição de diretrizes para investigações futuras no domínio de SoSG. Apesar dos resultados promissores, o trabalho apresentou um série de limitações, aqui resumidas por capítulos.

- **Capítulo 4, Seção 4.4.** Detalha os desafios identificados durante o processo de avaliação da proposta teórica do modelo.
 - *Tamanho reduzido da amostra e amostragem.* A avaliação contou com apenas seis especialistas selecionados por métodos não probabilísticos (*accidental* e *snowball*), o que impede a generalização estatística dos resultados para toda a comunidade.
 - *Incerteza sobre a completitude técnica.* Obteve-se uma concordância moderada (66,7%) sobre a métrica de completitude, indicando que o modelo preliminar apresenta lacunas em atributos mínimos e relacionamentos necessários para operar como um guia prescritivo robusto.
 - *Representação imprecisa das independências.* A avaliação detectou que as classes IO e IG foram inicialmente modeladas como relacionamentos externos, quando deveriam ser tratadas como propriedades inerentes à classe de Sistemas Constituintes.
- **Capítulo 5, Seção 5.4.** Foca nas restrições encontradas durante a instanciação do modelo no ambiente do TJGO.
 - *Nível conhecimento teórico dos respondentes.* Embora experientes em TI, 81,4% dos participantes da pesquisa de opinião possuíam pouco ou nenhum conhecimento sobre SoS, o que constitui uma ameaça à identificação precisa de propriedades abstratas como comportamento emergente e independências, por exemplo. Esse fator levou ao uso de uma caracterização documental e narrativa do autor para confirmar objetivamente as propriedades do ambiente.
 - *Validade científica do método subjetivo para caracterização (narrativa do autor).* O método utilizado é um estudo qualitativo de natureza descritiva e exploratória, que utilizou pesquisa de opinião, análise documental e dedução lógica baseada em critérios da literatura, para garantir o rigor científico. A narrativa cumpre o papel de síntese qualitativa, transformando dados dispersos em uma estrutura que reflete a realidade operacional do tribunal.
 - *Capacidade representacional limitada do artefato.* O artefato de caracterização visual dos 62 serviços do tribunal é puramente gráfico, carecendo de rigor sintático e da profundidade semântica necessária para realizar análises técnicas de desempenho ou confiabilidade.
 - *Ausência de avaliação de especialistas para a instância concreta.* A demonstração de viabilidade técnica no TJGO não foi submetida a uma avaliação

formal de especialistas de domínio, o que limita a confirmação de que o mapeamento dos 31 Itens de Governança (IG) reflete fielmente a realidade operacional do Judiciário.

- *Tamanho da amostra e rigor na avaliação.* Embora o número de avaliadores (n=6 e n=3) limite generalizações estatísticas, a escolha metodológica pautou-se na senioridade e profundidade do *feedback* de especialistas (doutores com mais de 16 anos de experiência), conforme os princípios de refinamento qualitativo da DSR.
- *Variação nos índices de concordância.* A queda na concordância sobre a viabilidade do modelo na fase internacional (de 83,3% para 33,3%) decorre da especificidade do domínio de aplicação, e do aumento do rigor científico, visto que especialistas estrangeiros avaliaram uma instância regulatória brasileira específica (iGovTIC-JUD) com a qual tinham menos familiaridade.
- *Viabilidade de representação vs. eficácia operacional.* A conclusão de viabilidade do modelo de SoSG refere-se à capacidade técnica do artefato em organizar e representar processos complexos de forma auditável. A medição da eficácia operacional da SoSG em termos de resultados de gestão permanece como diretriz para estudos futuros de longo prazo.

Embora não possa ser considerada uma limitação, uma questão importante a ser observada foi o curto período de disponibilidade das pesquisas de opinião utilizadas nos Capítulos 4 e 5, que variou entre 10 e 15 dias. Esse fato se justifica primordialmente pela necessidade de atender aos prazos rigorosos de submissão (*deadlines*) dos artigos científicos que fundamentaram estes capítulos, uma vez que seu conteúdo foi originado a partir de manuscritos submetidos e publicados em veículos de relevância na área, como o SBSI e SESoS (Seção 1.7). A execução das pesquisas precisou ocorrer de forma tempestiva para permitir a análise dos dados e a redação final dos textos dentro dos cronogramas editoriais. Portanto, a rapidez no encerramento das coletas não decorreu de uma satisfação prematura com o volume de respostas, mas da imposição do calendário acadêmico para garantir a avaliação dos resultados por pares e a consequente integração dessas publicações ao corpo desta tese.

Embora o PreSoSG e sua respectiva instanciação no SOS do TJGO tenham indicado a viabilidade da tese, o reconhecimento das barreiras identificadas em ambas as etapas é fundamental para situar o alcance científico do trabalho e fundamentar o direcionamento das investigações subsequentes. Diante desse cenário, as limitações metodológicas e estruturais apontadas tornam-se o ponto de partida para os desdobramentos futuros, conforme detalhado a seguir.

6.4 Trabalhos Futuros

As perspectivas de trabalhos futuros delineadas nos Capítulos 2, 4 e 5 buscam elevar o nível de maturidade, capacidade de sistematização de conhecimento e aplicabilidade prática do PreSoSG. O Capítulo 2 apresenta perspectivas de a partir da fundamentação teórica, o Capítulo 4 foca na evolução do artefato, o Capítulo 5 direciona-se ao aprimoramento da sua viabilidade e generalização em um ambiente real de operação. Estas perspectivas são detalhadas a seguir.

- **O Capítulo 2, Seção 2.4.** Apresenta as perspectivas de trabalhos futuros que são delineadas para dar continuidade às descobertas do mapeamento sistemático ali apresentado, além de fortalecer a área de SoSG. Também se justificam pelas diversas lacunas identificadas durante condução do mapeamento. As resumo da perspectivas descritas são as seguintes:
 - *Elaboração de um modelo conceitual sintetizado.* Propõe-se a criação de um modelo que integre e organize todos os conceitos eliciados durante a revisão da literatura.
 - *Proposta de um Modelo Conceitual de SoSG e sua instanciação.* O objetivo é não apenas criar o modelo, mas aplicá-lo em um cenário real como forma de avaliação preliminar de sua eficácia. Esta proposta foi o objeto central desta tese.
 - *Condução de estudos suplementares.* Realização com estudos de caso e pesquisas de opinião para ampliar a base de evidências. (iv) **Expansão da revisão da literatura.** Utilização da técnica de *snowballing* (busca em cadeia) para identificar novos estudos relevantes que possam ter sido omitidos na busca inicial.
- **Capítulo 4, Seção 4.6.** Apresenta as perspectivas de trabalhos futuros delineadas para consolidar e expandir o rigor do Modelo Conceitual de SoSG proposto. Essas perspectivas visam elevar o nível de abstração e formalidade da área, permitindo que futuras pesquisas utilizem este modelo como base para criar sistemas de controle e coordenação ainda mais precisos para ambientes de SoS. As direções vislumbradas para a continuidade da pesquisa dividem-se em quatro frentes principais.
 - *Desenvolvimento de Métricas de Impacto e Indicadores de Governança.* Propõe-se o desenvolvimento de métricas e indicadores auditáveis para mensurar o impacto prático do PreSoSG na governança organizacional. O objetivo é evoluir da validação técnica para a análise quantitativa da eficiência jurisdicional e da redução de riscos.

- *Evolução para um Metamodelo.* Refinar o modelo atual para uma estrutura de metamodelo com rigor matemático superior, visando facilitar a integração em ferramentas computacionais e ambientes de Engenharia Baseada em Modelos (MDE).
 - *Desenvolvimento de Modelos de Maturidade.* Criar instrumentos práticos que permitam às organizações medir e aumentar a eficácia da governança aplicada aos seus ambientes complexos.
 - *Integração da Sustentabilidade.* Expandir o escopo do modelo para incluir dimensões ambientais, sociais e econômicas, garantindo que a SoSG promova princípios éticos de longo prazo.
 - *Aprimoramento da Capacidade Semântica.* Incorporar detalhes arquiteturais e comportamentais mais profundos (como atributos de versão e entradas/saídas) para mitigar incertezas sobre a completitude do modelo.
- **Capítulo 5, Seção 5.6.** Apresenta perspectivas de trabalhos futuros no sentido de superar as limitações identificadas na caracterização do conjunto de SI do TJGO como um SoS e para expandir o impacto da pesquisa. Essas iniciativas buscam elevar a maturidade do conhecimento gerado, permitindo que a caracterização do ambiente jurídico como SoS deixe de ser apenas uma constatação teórica e se torne uma ferramenta prática de governança, dividida em quatro frentes principais.
 - *Evolução da Representação Gráfica.* Substituir o artefato visual por modelos arquiteturais robustos que utilizem notações capazes de capturar interações dinâmicas e dependências críticas.
 - *Replicação Direcionada da Pesquisa de Opinião.* Realizar novos levantamentos com um público submetido a treinamento prévio em SoS, visando obter dados de qualificação mais precisos sobre as propriedades do ambiente.
 - *Proposição de Framework Reutilizável.* Sistematizar o método de caracterização para que possa ser replicado em outros tribunais ou domínios complexos, promovendo a generalização da tese.
 - *Análise de Desempenho da Instância.* Submeter o modelo instanciado a avaliações rigorosas de sua confiabilidade e eficiência, transformando a teoria em uma ferramenta prática de gestão.
 - *Avaliação de Especialistas de Domínio.* Aprofundar a avaliação junto a gestores do tribunal para confirmar se os relacionamentos de realização estabelecidos refletem fielmente a realidade operacional judiciária.

Em conclusão, esta tese não encerra a investigação sobre a SoSG, mas estabelece a base necessária para que o domínio evolua de abordagens puramente descritivas para modelos mais rigorosos, prescritivos e auditáveis. As perspectivas de trabalhos futuros,

que abrangem desde a evolução do artefato para um metamodelo até a criação de modelos de maturidade, visam transformar o conhecimento gerado nesta pesquisa em instrumentos práticos e automatizáveis de gestão organizacional e tecnológica.

Ao consolidar a união entre as funções de governança e as propriedades de SoS, espera-se que este estudo contribua significativamente para a maturidade da área de SoSG, permitindo que ambientes complexos atinjam o alinhamento estratégico e a conformidade normativa sem comprometer a independência operacional e gerencial de seus constituintes. A continuidade desta jornada científica permitirá que a SoSG transcenda o alinhamento técnico, incorporando dimensões críticas como a sustentabilidade e consolidando-se como um paradigma indispensável para a gestão de ambientes em constante evolução.

6.5 Considerações Finais

No que tange aos procedimentos éticos, as pesquisas de opinião realizadas nesta tese não foram submetidas ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), uma decisão fundamentada na natureza técnica da investigação. A pesquisa envolveu exclusivamente profissionais especialistas consultados sobre percepções e conhecimentos estritamente ligados à sua atuação profissional e à arquitetura de sistemas. Tal procedimento está em conformidade com a Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde (CNS), que dispensa de registro no sistema CEP/CONEP pesquisas de opinião pública com participantes não identificados e que não envolvem riscos físicos ou psíquicos.

O rigor ético e o respeito aos participantes foram assegurados pela aplicação do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) em todos os formulários eletrônicos (Apêndices B, C e D). O TCLE garantiu o anonimato dos respondentes, a voluntariedade da participação e o direito de desistência a qualquer momento sem ônus. Esta conduta metodológica alinha-se às orientações disseminadas em fóruns nacionais da área, que reforçam a adequação dessa abordagem para estudos que coletam percepções técnicas de profissionais da indústria e academia visando a validação de artefatos de *design*.

Referências

- [1] ABNT. **ISO/IEC 15504:2017-08. Sistemas e softwares - Modelo de referência de capacidade para processos. Seção 4.2.** Technical report, ABNT, Rio de Janeiro, 2017.
- [2] ALLISON, J.; COOK, S. **The new era in military systems thinking and practice.** In: *Proceedings of Systems Engineering 98*, Systems Engineering Society of Australia, p. 11–19, Canberra, Nov 1998. IEAust.
- [3] ALVES, L. **Governança e cidadania empresarial.** *Revista de Administração de Empresas*, 41(4):78–86, 2001.
- [4] AMPATZOGLOU, A.; BIBI, S.; AVGERIOU, P.; VERBEEK, M.; CHATZIGEORGIOU, A. **Identifying, categorizing and mitigating threats to validity in software engineering secondary studies.** *Information and Software Technology*, 106:201–230, 2019.
- [5] ANDERSON, W.; CARNEY, D. **Distributed project governance assessment (dpga): Contextual, hands-on analysis for project governance across sovereign boundaries.** In: *Proceedings of the 2009 ICSE Workshop on Software Development Governance, SDG '09*, p. 27–28, 2009.
- [6] ARONOFF, C. E.; WARD, J. L. **Family Business Governance: Maximizing Family and Business Value.** Family Enterprise Publishers, Marietta, GA, 2001.
- [7] ASHTON, T. S. **The Industrial Revolution, 1760-1830.** Oxford University Press, Oxford, UK, 1948.
- [8] AXELOS. **ITIL Foundation, ITIL 4 Edition.** ITIL 4 Foundation Series. Axelos, 2019.
- [9] AXELSSON, J. **A systematic mapping of the research literature on system-of-systems engineering.** In: *10th System of Systems Engineering Conference (SoSE)*, p. 18–23, San Antonio, TX, USA, 2015.
- [10] BAEK, Y. M.; SONG, J.; SHIN, Y. J.; PARK, S.; BAE, D. H. **A meta-model for representing system-of-systems ontologies.** In: *Proceedings of the 2018*

- IEEE/ACM 6th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems (SESoS)*, p. 1–7. IEEE, 2018.
- [11] BAKER, H. K.; FILBECK, G.; LEE, J. H. W., editors. **ESG and Responsible Investing: A Global Guide**. Oxford University Press, Oxford, UK, 2020.
- [12] BART, C.; BONTIS, N. **Distinguishing between the board and management in company mission implications for corporate governance**. *Journal of Intellectual Capital*, 4, May 2005.
- [13] BATISTA, P.; NETO, R.; PAES, C.; LIMA, E.; ROHLING, A.; GRACIANO-NETO, V. **Arquiteturas de referência para sistemas-de-sistemas: um mapeamento sistemático**. *iSys - Brazilian Journal of Information Systems*, 14:119–153, 2021.
- [14] BERA, P.; PASALA, A. **A framework for optimizing effort in testing of system of systems**. In: *Proceedings of the 2012 Third International Conference on Services in Emerging Markets*, p. 136–141. IEEE, 2012.
- [15] BERTEAU, D.; BEN-ARI, G.; ARCHER, J.; RAGHAVAN, S. **Identifying governance best practices in systems-of-systems acquisition**. Technical report, Acquisition Research Program, 2014.
- [16] BETTS, T. **IT Governance: A Pocket Guide**. IT Governance Publishing, Ely, UK, 2015.
- [17] BEVIR, M., editor. **The SAGE Handbook of Governance**. SAGE Publications Ltd, London, UK, 2011.
- [18] BOARDMAN, J.; SAUSER, B. **The meaning of system of systems**. *System of Systems Engineering*, 0:6 pp.–, Apr 2006.
- [19] BOARDMAN, J.; SAUSER, B. **System of systems - the meaning of**. In: *System of Systems Engineering Conference (SoSE)*, Los Angeles, USA, 2006.
- [20] BOSCARIOLI, C.; ARAUJO, R.; MACIEL, R. **I GranDSI-BR: Grand Research Challenges in Information Systems in Brazil 2016-2026**. Associação da Computação da América Latina, IEEE Computer Society, São Paulo, 2017.
- [21] BOURNER, T.; BROOK, C.; MERTLER, C. **Comparing and Contrasting Action Research and Action Learning**, p. 185–205. Wiley Handbooks in Education. Wiley-Blackwell, Feb 2019.

- [22] BOXER, P.; KIRWAN, P.; SASSENBURG, H. **The impact of governance approaches on sos environments**. *Asymmetric Leadership*, 2011.
- [23] BRADLEY, J.; JOINER, K.; EFATMANESHNIK, M.; KEATING, C. **Evaluating australia's most complex system-of-systems, the future submarine: A case for using new complex systems governance**. *Systems Engineering*, 27:187–199, 2017.
- [24] BRADLEY, J.; UNAL, R.; PINTO, C.; CAVIN, E. **Competencies for governance of complex systems of systems**. *International Journal of System of Systems Engineering*, 6(1/2):1–24, 2015.
- [25] BRASIL. **Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), nº 13.709, de 14 de agosto de 2018**, 2018. Acesso em: 21 jan. 2026.
- [26] BRICKEY, K. F. **From enron to worldcom and beyond: Life and crime after sarbanes-oxley**. *Washington University Law Review*, 81(2):357–401, 2003.
- [27] BRYANS, J.; PAYNE, R.; HOLT, J.; PERRY, S. **Semi-formal and formal interface specification for system of systems architecture**. In: *SysCon*, p. 612–619, Orlando, USA, 2013.
- [28] BUHNOVA, B.; HALASZ, D.; IQBAL, D.; BANGUI, H. **Survey on trust in software engineering for autonomous dynamic ecosystems**. In: *Proceedings of the 38th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing, SAC '23*, p. 1490–1497, Mar 2023.
- [29] BUIJS, R.; VAN DER ZEE, E.; VAN DER VEEN, J.; VAN WIJK, M. **Implementing a methodology for governing soso analysis**. *Syst. Eng. J.*, 18(4):523–542, 2015.
- [30] BUIJS, T.; VAN DER ZEE, E.; HERDER, M.; VAN DONK, P. **Data governance for sos**. *Systems Engineering Journal*, 15(4):467–486, 2012.
- [31] CADBURY, A. **Report of the committee on the financial aspects of corporate governance**, 1992. London: Gee and Co. Ltd.
- [32] CALIDA, B.; JARADAT, R.; ABUTABENJEH, S.; KEATING, C. **Governance in systems of systems: A systems-based model**. *International Journal of System of Systems Engineering*, 6(1/2):1–24, 2016.
- [33] CALIDA, D. **Critical Infrastructures, Key Resources, Key Assets: Risk, Vulnerability, Resilience, Fragility, and Perception Governance**. Springer International Publishing, Cham, Switzerland, 2018.

- [34] CHEBBI, M.; CHAPURLAT, V.; WIENIN, J.; APRIN, L. **A proposal for system of systems organization and governance: Application to a depollution network.** In: *18th Annual System of Systems Engineering Conference (SoSE)*, p. 1–7, Lille, France, 2023.
- [35] CNJ. **Painel de Estatísticas do Poder Judiciário.** <https://justica-em-numericos.cnj.jus.br/painel-estatisticas/>, 2024. Acessado em Nov/2024.
- [36] CONSELHO NACIONAL DE JUSTIÇA. **Manual do Índice de Governança, Gestão e Infraestrutura de Tecnologia da Informação e Comunicação do Poder Judiciário: iGovTIC-JUD 2025.** Conselho Nacional de Justiça, Brasília, DF, apr 2025. Versão de Abril de 2025.
- [37] CRANE, A.; MATTEN, D.; SPENCE, L. J., editors. **Corporate Social Responsibility: Readings and Cases in a Global Context.** Routledge, London, UK, 3rd edition, 2019.
- [38] CROLL, P. **System and software assurance - rationalizing governance, engineering practice, and engineering economics.** In: *2014 IT Professional Conference*, p. 1–31, Gaithersburg, MD, USA, 2014.
- [39] DAHMANN, J.; BALDWIN, K. J.; REBOVICH, G., J. **Systems of systems and net-centric enterprise systems.** Technical report, MITRE Corporation, Loughborough University, 2009.
- [40] DAHMANN, J.; MARKINA-KHUSID, A.; DOREN, A.; WHEELER, T.; COTTER, M.; KELLEY, M. **Sysml executable systems of system architecture definition: A working example.** In: *Proceedings of the 2017 Annual IEEE International Systems Conference (SysCon)*, p. 1–6. IEEE, 2017.
- [41] DAHMANN, J. S.; BALDWIN, K. J. **Understanding the current state of us defense systems of systems and the implications for systems engineering.** In: *IEEE Systems Conference*, p. 1–7. IEEE, 2008.
- [42] DARABI, H. R.; GOROD, A.; MANSOURI, M. **Governance mechanism pillars for systems of systems.** In: *2012 7th International Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*, p. 374–379, Genova, Italy, 2012.
- [43] DOUGHTY, D. G. T.; DILLON, A., editors. **The Handbook of Compliance and Ethics in Financial Institutions.** Wiley, 2018.
- [44] DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JUNIOR, J. A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia.** Bookman, Porto Alegre, 2015.

- [45] DRIDI, C. E.; BENZADRI, Z.; BELALA, F. **System of systems engineering: Meta-modelling perspective**. In: *Proceedings of the 2020 IEEE 15th International Conference of System of Systems Engineering (SoSE)*, p. 135–144. IEEE, 2020.
- [46] DRIDI, C. E.; BENZADRI, Z.; BELALA, F. **System of systems modelling: Recent work review and a path forward**. In: *Proceedings of the 2020 International Conference on Advanced Aspects of Software Engineering (ICAASE)*, p. 1–8. IEEE, 2020.
- [47] EDWARDS, J.; WEAVER, G. **Governance, Risk Management, and Compliance**, chapter 1, p. 1–18. John Wiley & Sons, Ltd, 2024.
- [48] FELIZARDO, K. R.; NAKAGAWA, E. Y.; FABBRI, S. C. P. F.; FERRARI, F. C. **Revisão sistemática da literatura em Engenharia de Software: Teoria e Prática**. Elsevier, 2017.
- [49] FERLIE, E.; LYNN JR., L. E.; POLLITT, C., editors. **The Oxford Handbook of Public Management**. Oxford University Press, Oxford, UK, 2005.
- [50] FERNANDES, J.; CORDEIRO, F.; FERREIRA, F.; GRACIANO-NETO, V. V.; SANTOS, R. P. **A method for identification of potential interoperability links between information systems towards system-of-information systems**. *iSys: Revista Brasileira de Sistemas de Informação (Braz. J. Inf. Syst.)*, 15(1):2:1–2:26, 2021.
- [51] FERNANDES, J.; FERREIRA, F.; CORDEIRO, F.; GRACIANO-NETO, V. V.; SANTOS, R. P. **A conceptual model for systems-of-information systems**. In: *Proceedings of the 2019 IEEE 20th International Conference on Information Reuse and Integration for Data Science (IRI)*, p. 364–371. IEEE, 2019.
- [52] FERREIRA, C. A. L. **Pesquisa quantitativa e qualitativa: perspectivas para o campo da educação**. *Revista Mosaico - Revista de História*, 8(2):113–121, Dec 2015.
- [53] GALBRAITH, J. K. **The Great Crash 1929**. Houghton Mifflin Harcourt, Boston, MA, 1979.
- [54] GARCIA, T. **Governança corporativa e o conflito de interesses nas sociedades anônimas**. Atlas, São Paulo, 2005.
- [55] GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Plageder, Porto Alegre, 2009. Coordenado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- [56] GHARIB, M.; LOLLINI, P.; CECCARELLI, A.; BONDAVALLI, A. **Governance & autonomy: Towards a governance-based analysis of autonomy in cyber-physical systems-of-systems.** In: *2020 IEEE 15th International Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*, p. 000217–000222, Budapest, Hungary, 2020.
- [57] GIDEON, J.; DAGLI, C. H.; MILLER, A. **Taxonomy of systems-of-systems.** *Conference on Systems Engineering Research, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, Jan 2005.
- [58] GILSON, R. J.; BLACK, B. S. **The equitable treatment of shareholders: A comparative analysis of corporate governance systems.** *Stanford Law Review*, 1998.
- [59] GONÇALVES, M. B.; CAVALCANTE, E.; BATISTA, T.; OQUENDO, F.; NAKAGAWA, E. Y. **Towards a conceptual model for software-intensive system-of-systems.** In: *Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, p. 1605–1610. IEEE, 2014.
- [60] GONZAGA, S. C.; CALIXTO, V. **Positivismo, fenomenologia e materialismo histórico e dialético: resumo das três correntes metodológicas.** *Revista Contemporânea*, 4(6):e4731, jun 2024.
- [61] GOROD, A.; MERCHANT, S.; HALLO, L. **Toward systemic governance of cancer treatment as a system of systems.** In: *13th Annual Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*, p. 556–560, Jun 2018.
- [62] GRACIANO-NETO, V. V.; DOS SANTOS, R.; VIANA, D.; ARAUJO, R. **Towards a conceptual model to understand software ecosystems emerging from systems-of-information systems.** In: *Software Ecosystems, Sustainability and Human Values in the Social Web*, p. 1–20. Springer, Cham, 2017.
- [63] GRACIANO-NETO, V. V.; GUESSI, M.; OLIVEIRA, L. B. R.; OQUENDO, F.; NAKAGAWA, E. Y. **Investigating the model-driven development for systems-of-systems.** In: *Proceedings of the Software Engineering for Systems-of-Systems (SESoS)*, p. 22:1–22:8, Vienna, Austria, 2014.
- [64] GRACIANO-NETO, V. V.; KASSAB, M. **What Every Engineer Should Know About Smart Cities**, volume 1 de **Smart Cities Series**. Routledge, New York, 2023.

- [65] GRACIANO-NETO, V. V.; SANTOS, R.; ARAUJO, R. **Sistemas de Sistemas de Informação e Ecossistemas de Software: Conceitos e Aplicações**. In: *Tópicos em Sistemas de Informação: Minicursos SBSI 2017*, p. 2, Lavras, MG, Jun 2017.
- [66] HALLMANS, D.; SANDSTRÖM, K.; LARSSON, S.; NOLTE, T. **Challenges in providing sustainable analytics of system of systems with long life time**. In: *Proceedings of the 16th International Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*, p. 69–74, Jun 2021.
- [67] HAMZANE, I.; EL KHALYLY, B. **Towards an it governance of devops metamodel**. In: *Proceedings of the 2021 International Conference on Decision Aid Sciences and Application (DASA)*, p. 824–827. IEEE, 2021.
- [68] HANSEN, M. F.; THOMSEN, J. P. **Project Governance: A Practical Guide to Strategic Control**. Gower Publishing, Farnham, UK, 2013.
- [69] HEGEDÜS, C.; VARGA, P.; TANYI, S. **A governance model for local and interconnecting arrowhead clouds**. In: *IECON 2020 - The 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, p. 4497–4502, Oct 2020.
- [70] HEPBURN, B.; ANDERSEN, H. **Scientific method**. In: ZALTA, E. N.; NODELMAN, U., editors, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Metaphysics Research Lab, Stanford University, spring 2026 edition, 2026.
- [71] HILL, C.; LYNN JR., L. E. **Governance and public management, an introduction**. *J. Policy Anal. Manag.*, 23(1):3–11, Dec 2004.
- [72] HJØRLAND, B. **Empiricism, rationalism and positivism in library and information science**. *Journal of Documentation*, 61(1):130–155, feb 2005.
- [73] IMAMURA, M.; COSTA, L. A.; PEREIRA, B.; FERREIRA, F. H. C. **Fatores de governança em sistemas-de-sistemas: Análise de uma instituição pública brasileira**. In: *Anais do Workshop sobre Aspectos Sociais, Humanos e Econômicos de Software (WASHES)*, 2020.
- [74] INOCÊNCIO, T. J.; GONZALES, G. R.; CAVALCANTE, E.; HORITA, F. E. A. **Emergent behavior in system-of-systems: A systematic mapping study**. In: *Proceedings of the 33rd Brazilian Symposium on Software Engineering (SBES '19)*, SBES '19, p. 140–149, Salvador, Brazil, 2019. ACM.
- [75] ISACA. **COBIT 5: Framework for the Governance and Management of Enterprise IT**. Information Systems Audit and Control Association (ISACA), Rolling Meadows, IL, USA, 2012.

- [76] ISACA. **COBIT 2019 Framework: Governance and Management Objectives**. Information Systems Audit and Control Association (ISACA), Rolling Meadows, IL, USA, 2019.
- [77] ISO/IEC/IEEE. **Iso/iec/ieee 42010:2011(e): Systems and software engineering — architectural description**. Technical report, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2011.
- [78] ISO/IEC/IEEE. **Systems and software engineering — taxonomy of systems of systems**. Technical Report ISO/IEC/IEEE 21841:2019(E), International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, Jul 2019. First edition.
- [79] JUNIOR, G. T.; SILVA, A. C. A. G. D.; SANTOS, R. P. D.; KASSAB, M.; GRACIANO NETO, V. V. **Are sois the majority of sos? an exploratory investigation of subtypes of systems-of-systems in the literature**. In: *Proceedings of the 2025 IEEE/ACM 13th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and Software Ecosystems (SESoS)*, p. 9–16. IEEE, 2025.
- [80] KABIR, M. A.; RAHMAN, M. H. **Transparency in corporate governance: A review of the literature**. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 7(2):240–247, 2017.
- [81] KANNABIRAN, G.; PANDYAN, C. **Enabling role of governance in strategizing and implementing km**. *Journal of Knowledge Management*, 14(3):335–347, 2010.
- [82] KATINA, P.; BOBO, J.; TOLAND, T. **A governance perspective for system-of-systems**. *Systems*, 7:54, Dec 2019.
- [83] KATINA, P.; KEATING, C.; BOBO, J.; TOLAND, T. S. **A governance perspective for system-of-systems**. *Systems*, 7(54), 2019.
- [84] KAZANTSEV, N.; SAMPAIO, P.; PISHCHULOV, G.; CABRERA, S. C.; LIU, Z.; MEHANDJIEV, N. **A governance metamodel for industry 4.0 service collaborations**. In: *Proceedings of the 2018 IEEE World Congress on Services (SERVICES)*, p. 47–48. IEEE, 2018.
- [85] KAZI, M. R.; CHOWDHURY, N.; CHOWDHURY, M.; TURIN, T. C. **Conducting comprehensive scoping reviews to systematically capture the landscape of a subject matter**. *Popul. Med.*, 3(4):1–9, Dec 2021.
- [86] KEATING, C. B. **Governance implications for meeting challenges in the system of systems engineering field**. In: *2014 9th International Conference on System of Systems Engineering (SOSE)*, p. 154–159, Glenelg, SA, Australia, 2014.

- [87] KHALIL, W.; KOUBEISSI, A.; MERZOUKI, R.; CONRARD, B.; OULD-BOUAMAMA, B. **Contribution to system of systems modeling**. In: *2015 10th System of Systems Engineering Conference (SoSE)*, p. 182–186, 2015.
- [88] KHAYAL, I. S.; FARID, A. M. **Designing patient-oriented healthcare services as a system of systems**. In: *2018 13th System of Systems Engineering Conference (SoSE)*, p. 233–239, 2018.
- [89] KIM, Y.; JOHNSTON, E.; KANG, H. **A computational approach to managing performance dynamics in networked governance systems**. *Public Performance and Management Review*, 34(4):580–597, 2011.
- [90] KING, A. S.; PUCKER, K. P., editors. **The ESG Handbook: A Guide to Environmental, Social, and Governance**. Wiley, Hoboken, NJ, 2023.
- [91] KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. **Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering**. Technical Report EBSE-01, EBSE Technical Report, Jul 2007.
- [92] KOU, Y.; GUI, X.; ZHANG, S.; NARDI, B. **Managing disruptive behavior through non-hierarchical governance: Crowdsourcing in league of legends and weibo**. *Proceedings ACM Hum.-Comput. Interact.*, 1(CSCW):Article 62, 17 pages, Nov 2017.
- [93] KUDO, T. N.; NETO, R.; MACEDO, A.; VINCENZI, A. **Padrão de requisitos no ciclo de vida de software: Um mapeamento sistemático**. In: *Proceedings of XXII Conferencia Iberoamericana de Software Engineering, XXII Conferência Iberoamericana de Engenharia de Software*, Havana, Cuba, 2019.
- [94] KUNER, C.; BYGRAVE, L. A.; DOCKSEY, C. **The GDPR: A Commentary**. Oxford University Press, Oxford, UK, 2nd edition, 2020.
- [95] LADLEY, J. **Data Governance: Principles and Practices**. Elsevier Science, Burlington, MA, 2012.
- [96] LAHBOUBE, F.; ROUDIES, O.; SOUISSI, N. **Extending supervision metamodel to complex system context**. In: *Proceedings of the 2015 Third World Conference on Complex Systems (WCCS)*, p. 1–7. IEEE, 2015.
- [97] LAHBOUBE, F.; ROUDIES, O.; SOUISSI, N. **Building a his supervision metamodel**. In: *Proceedings of the 2016 11th System of Systems Engineering Conference (SoSE)*, p. 1–6. IEEE, 2016.

- [98] LANE, J. A. **What is a system of systems and why should i care?** Technical report, University of Southern California, 2013.
- [99] LANGFORD, G.; LANGFORD, T. **The making of a system of systems: Ontology reveals the true nature of emergence.** In: *2017 12th System of Systems Engineering Conference (SoSE)*, p. 1–5, 2017.
- [100] LEBTAG, B. G. A.; TEIXEIRA, P. G.; SANTOS, R. P.; VIANA, D.; NETO, V. V. G. **Strategies to evolve exm notations extracted from a survey with software engineering professionals perspective.** *J. Softw. Eng. Res. Dev.*, 10(1):2:1–2:24, Jan 2022.
- [101] LEDERMAN, L.; MAZZA, S. W. **Tax Compliance, Enforcement, and Taxpayer Rights.** Carolina Academic Press, Durham, NC, 2017.
- [102] LEE, O. L.; TAY, R. I.; TOO, S. T.; GOROD, A. **A smart city transportation system of systems governance framework: A case study of singapore.** In: *Proceedings of the 2019 14th Annual Conference System of Systems Engineering (SoSE)*, p. 37–42. IEEE, 2019.
- [103] LINÅKER, J.; SULAMAN, S. M.; DE MELLO, R. M.; HÖST, M. **Guidelines for Conducting Surveys in Software Engineering.** Technical report, Dept. of Computer Science, Lund University, Lund, Sweden, 2015.
- [104] LLUCH, I.; GOLKAR, A. **Architecting federations of systems: A framework for capturing synergy.** *Systems Engineering*, 22(4):295–312, 2019.
- [105] LUCZAK-RÖSCH, M. **Beyond positivism in computer science.** In: *Proceedings of the 2013 ACM Web Science Conference (WebSci '13)*, Paris, France, 2013. ACM.
- [106] LYNEIS, J.; SNOWDON, D.; KAPLAN, C.; CAVIN, E. **Coupling quantitative vulnerability assessment and complex system governance for systems of systems.** *Systems Engineering Journal*, 15(4):487–506, 2012.
- [107] LYNEIS, J. M.; SNOWDON, D. C. **An initial perspective on governing a system of systems.** *Systems Engineering Journal*, 12(1):5–23, 2009.
- [108] MAHOOD, Q.; VAN EERD, D.; IRVIN, E. **Searching for grey literature for systematic reviews: Challenges and benefits.** *Res Synth Methods*, 5(3):221–234, 2014.
- [109] MAIER, M. W. **Architecting principles for systems-of-systems.** *Syst. Eng.*, 1(4):267–284, 1998.

- [110] MALEKZADEH, M.; HAJIBABAEI, P.; HEIDARI, M.; BERLIN, B. **Review of deep learning methods for automated sleep staging.** In: *Proceedings of the 2022 IEEE 12th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*, p. 80–86. IEEE, 2022.
- [111] MANSOURI, M.; GOROD, A.; WAKEMAN, T.; SAUSER, B. **System of systems approach to maritime transportation governance.** *Transportation Research Record*, 2166(1):66–73, 2010.
- [112] MANSOURI, M.; GOROD, A.; WAKEMAN, T. H.; SAUSER, B. **A systems approach to governance in maritime transportation system of systems.** In: *2009 IEEE International Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*, p. 1–6, Albuquerque, NM, USA, 2009.
- [113] MANSOURI, M.; MOSTASHARI, A. **A systemic approach to governance in extended enterprise systems.** In: *IEEE International Systems Conference*, p. 311–316, San Diego, CA, USA, 2010.
- [114] MARAKAS, G. M.; O'BRIEN, J. A. **Administração de sistemas de informação.** Bookman, São Paulo, 15 edition, 2013.
- [115] MAZIN, R.; GUERIN, L. **The HR Compliance Handbook.** HRDQ, King of Prussia, PA, 2022.
- [116] MCLEAN, B.; ELKIND, P. **Enron: The Smartest Guys in the Room.** Portfolio, New York, 2003.
- [117] MOGAHED, M.; MANSOURI, M. **Systems of systems governance frameworks: A thorough scoping review and synthesis towards enhancing healthcare delivery.** *IEEE Syst. J.*, 19(2):648–658, 2025.
- [118] MOLLÉRI, J. S.; PETERSEN, K.; MENDES, E. **Survey guidelines in software engineering: An annotated review.** In: *Proceedings of the 10th ACM/IEEE Int. Symp. on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM '16)*, p. 58:1–58:6, Ciudad Real, Spain, 2016. ACM.
- [119] MONKS, R. A. G.; MINOW, N. **Corporate Governance.** Wiley-Blackwell, Chichester, UK, 5 edition, 2011.
- [120] MOORE, M. H. **Governance versus management: An enduring conundrum in nonprofit and public management.** *Nonprofit Management and Leadership*, 11(1):5–18, 2000.

- [121] MORAIS, E.; LIMA, E.; GRACIANO-NETO, V. **Systems-of-systems governance: A systematic mapping of the literature.** *iSys - Brazilian Journal of Information Systems*, 17(1):17:1–17:44, Dec 2024.
- [122] MULLER, R.; TURNER, J. R.; ANDERSEN, M. D. K. **Project governance: A critical review of the literature and directions for future research.** *International Journal of Project Management*, 30(8):897–912, 2012.
- [123] MURPHY, J. E. **Corporate Compliance: Self-Policing for the Modern Business.** Wolters Kluwer, 2019.
- [124] NGUYEN, T.; NGO, T. **Policy aspects of service-based governance in secondary educational institutions of vietnam.** *International Journal of Research*, 5, 2021.
- [125] NIELSEN, C.; LARSEN, B.; PETER, G.; FITZGERALD, J.; WOODCOCK, J.; PELESKA, J. **Systems of systems engineering: Basic concepts, model-based techniques, and research directions.** *ACM Computing Surveys*, 48(2):Article No. 18, 1–41, 2015.
- [126] NIELSEN, C.; LARSEN, B.; PETER, G.; FITZGERALD, J.; WOODCOCK, J.; PELESKA, J. **Systems of systems engineering: Basic concepts, model-based techniques, and research directions.** *ACM Comput. Surv.*, 48(2):1–41, 2015.
- [127] NORMAN, M.; KURAS, J. **Governance of collaborative system of systems.** *Systems Engineering Journal*, 10(4):365–378, 2007.
- [128] NULTY, D. D. **The adequacy of response rates to online and paper surveys: what can be done?** *Assessment & evaluation in higher education*, 33(3):301–314, 2008.
- [129] O'CONNELL, B. **Governance in the Nonprofit World: Boards, Leadership, and the Law.** Jossey-Bass, San Francisco, CA, 1997.
- [130] OECD. **G20/OECD Principles of Corporate Governance.** Organisation for Economic Co-operation and Development Publishing, Paris, 2023.
- [131] OMG. **OMG Unified Modeling Language (OMG UML), Version 2.5.1.** Specification, Object Management Group (OMG), Needham, MA, USA, Mar 2017.
- [132] OQUENDO, F. **Formally describing the software architecture of systems-of-systems with sosadl.** In: *System of Systems Engineering Conference (SoSE)*, p. 1–6, Kongsberg, Norway, 2016.

- [133] OSBORNE, D.; GAEBLER, T. **Reinventing Government: How the Entrepreneurial Spirit is Transforming the Public Sector**. Addison-Wesley, 1992.
- [134] OSBORNE, S. P. **Governance and Public Management: An Introduction**. Routledge, London, UK, 2010.
- [135] OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. **Epistemologia: implicações para o ensino de ciências**. Evangraf; UFRGS, Porto Alegre, 2011. 108 p. : il.
- [136] PAES, C. E. B.; GRACIANO-NETO, V. V.; OQUENDO, F.; NAKAGAWA, E. Y. **Experience report and challenges for systems-of-systems engineering: a real case in the brazilian defense domain**. In: *Anais do CBSOft – WDES 2016*, Maringá, Brasil, 2016.
- [137] PAI, M.; MCCULLOCH, M.; GORMAN, J.; PAI, N.; ENANORIA, W.; KENNEDY, G.; THARYAN, P.; COLFORD, J. **Systematic reviews and meta-analyses: an illustrated, step-by-step guide**. *Natl Med J India*, 17(2):86–95, 2004.
- [138] PAYNE, B.; LING, L. O.; GOROD, A. **Towards a governance dashboard for smart cities initiatives: A system of systems approach**. In: *Proceedings of the 2020 IEEE 15th International Conference of System of Systems Engineering (SoSE)*, p. 587–592. IEEE, 2020.
- [139] PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M.; CHATTERJEE, S. **A design science research methodology for information systems research**. *J. Manag. Inf. Syst.*, 24(3):45–77, Dec 2007.
- [140] PÉREZ, J.; DÍAZ, J.; GARBAJOSA, J.; YAGÜE, A.; GONZÁLEZ, E.; LÓPEZ-PÉREA, M. **Large-scale smart grids as system of systems**. In: *Software Engineering for Systems-of-Systems (SESoS)*, p. 38–42, New York, USA, 2013.
- [141] PETERSEN, K.; VAKKALANKA, S.; KUZNIARZ, L. **Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update**. *Information and Software Technology*, 64:1–18, 2015.
- [142] PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Emenda Constitucional nº 45, de 2004**. <https://www.planalto.gov.br/>, 2004. Acessado em Nov/2024.
- [143] QADDOUMI, E.; ODEH, M.; KHAN, Z.; KOSSMANN, M. **Ontosos.qr: Semantic representation of quality requirements metamodel for systems of systems**. In: *Proceedings of the 2018 International Arab Conference on Information Technology (ACIT)*, p. 1–7. IEEE, 2018.

- [144] QADDOUMI, E.; ODEH, M.; KHAN, Z.; KOSSMANN, M.; TBAKHI, A.; MANSOUR, A. **A semantically-enriched quality governance framework for systems of systems applied to cancer care.** In: *Proceedings of the 2018 1st International Conference on Cancer Care Informatics (CCI)*, p. 15–24. IEEE, 2018.
- [145] QADDOUMI, E.; ODEH, M.; KHAN, Z.; KOSSMANN, M.; TRAISH, I.; TBAKHI, A. **Ontosos.qm.gov: A quality governance framework for systems of systems.** In: *Conf. of System of Systems Engineering (SoSE)*, Dec 2018.
- [146] RAZ, A.; BLASCH, E.; CRUISE, R.; NATARAJAN, S. **Enabling autonomy in command and control via game-theoretic models and machine learning with a systems perspective.** In: *Proceedings of the AIAA Scitech 2019 Forum*, 2019.
- [147] RECHTSCHAFFEN, C. **Environmental compliance and enforcement: An empirical analysis.** *Environmental Law Reporter*, 34(10):10913–10928, 2004.
- [148] RIJKE, J.; BROWN, R.; ZEVENBERGEN, C.; ASHLEY, R.; FARRELLY, M.; MORISON, P.; HERK, S. **Fit-for-purpose governance: A framework to make adaptive governance operational.** *Environmental Science and Policy*, 22:73–84, 2012.
- [149] ROGERS, E.; MITCHELL, S. **Mbse delivers significant return on investment in evolutionary development of complex sos.** *Syst. Eng.*, 24(4), Jul 2021.
- [150] ROSSETTI, J.; ANDRADE, A. **Governança corporativa: Fundamentos, desenvolvimento e tendências.** Atlas, São Paulo, 7 edition, 2014.
- [151] ROSSETTI, J. P.; ANDRADE, A. **Governança corporativa: Fundamentos, desenvolvimento e tendências.** Atlas, São Paulo, 7th ed. edition, 2014.
- [152] RUDOLPH, T.; SALWEN, J.; DANIELS, M.; HIGGINSON, J. **Aligning analysis and engineering decision-making within a military distributed system of systems.** In: *Proceedings of the 2012 7th International Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*, p. 173–178. IEEE, 2012.
- [153] SAGE, A. P.; CUPPAN, C. D. **On the systems engineering and management of systems of systems and federations of systems.** *Information Knowledge Systems Management*, 2(4):325–345, 2001.
- [154] SALADO, A. **Abandonment: A natural consequence of autonomy and belonging in systems-of-systems.** In: *2015 10th System of Systems Engineering Conference (SoSE)*, p. 352–357, San Antonio, TX, USA, 2015.

- [155] SALVANESCHI, P. **Modeling of information systems as systems of systems through dsm.** In: *2016 4th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems (SESoS '16)*, p. 8–11, Austin, TX, USA, 2016. ACM.
- [156] SALVANESCHI, P. **Modeling of information systems as systems of systems through dsm.** In: *2016 IEEE/ACM 4th Software Engineering for Systems-of-Systems (SESoS)*, p. 8–11, 2016.
- [157] SARA, O.; CARTURAN, G.; GOYA, D. H. **Major challenges of systems-of-systems with cloud and devops: A financial experience report.** In: *Proceedings of the 7th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and 13th Workshop on Distributed Software Development, Software Ecosystems and Systems-of-Systems, Goya SESoS-WDES '19*, p. 10–17, May 2019.
- [158] SARA, O.; CARTURAN, G.; GOYA, D. H. **A systems-of-systems security framework for requirements definition in cloud environment.** In: *Proceedings of the 13th European Conference on Software Architecture - Volume 2, ECSA '19*, p. 235–240, Sep 2019.
- [159] SEI. **CMMI for Development, Version 2.0.** Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA, 2018.
- [160] SHAH, N. A.; KHAN, A.; AHMAD, P.; ARSHAD, M. **The use of empiricism, rationalism and positivism in library and information science research.** *Library Philosophy and Practice (e-journal)*, nov 2020. Article 4448.
- [161] SHAKED, A.; REICH, Y. **A framework for development process design and its use for establishing intellectual property governance: Introduction of the prove framework using a case study.** In: *13th Annual Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*, p. 22–28, Jun 2018.
- [162] SHANKS, G. **Guidelines for conducting positivist case study research in information systems.** *Australasian Journal of Information Systems*, 10(1):76–85, dec 2002.
- [163] SHLEIFER, A.; VISHNY, R. W. **A survey of corporate governance.** *J. Finance*, 52(2):737–783, 1997.
- [164] SILVA, E.; BATISTA, T.; OQUENDO, F. **On the verification of mission-related properties in software-intensive systems-of-systems architectural design.** *Science of Computer Programming*, 192, 2020.

- [165] SILVEIRA, A. **Governança Corporativa no Brasil e no Mundo: teoria e prática**. Elsevier, Rio de Janeiro, 2 edition, 2015.
- [166] SLOANE, E.; BECK, R.; METZGER, S. **Agsoa - agile governance for service oriented architecture (soa) systems: A methodology to deliver 21st century military net-centric systems of systems**. In: *Proceedings of the 2nd Annual IEEE Systems Conference*, p. 1–4, Montreal, QC, Canada, 2008. IEEE.
- [167] SOFTEX. **Guia Geral MPS de Software - Versão 3.0**. Softex, São Paulo, 2018.
- [168] SPÍNOLA, R. O.; DIAS-NETO, A. C.; TRAVASSOS, G. H. **Abordagem para desenvolver tecnologia de software com apoio de estudos secundários e primários**. In: *ESELAW*, p. 25, 2008.
- [169] SPIRA, L. F. **The Cadbury Committee: A History**. Oxford University Press, Oxford, UK, 2013.
- [170] TAN, H. C. H.; TAN, G. S. L.; LEE, M. K., editors. **The Handbook of Corporate Governance: A Global Perspective**. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK; Northampton, MA, USA, 2016.
- [171] TCE-PE. **A diferença entre governança e gestão de TI**, 2026. Tribunal de Contas do Estado de Pernambuco.
- [172] TEIXEIRA, P. G.; LEBTAG, B. G. A.; SANTOS, R. P.; FERNANDES, J.; MOHSIN, A.; KASSAB, M.; GRACIANO-NETO, V. V. **Constituent system design: A software architecture approach**. In: *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Software Architecture Companion (ICSA-C)*, p. 218–225. IEEE, 2020.
- [173] TEIXEIRA, P. G.; LEBTAG, B. G. A.; SANTOS, R. P.; KASSAB, M.; HORITA, F.; GRACIANO-NETO, V. V. **Externalizing requirements for achieving operational independence in systems-of-systems: A mapping study**. In: *Proceedings of the 18th Annual System of Systems Engineering Conference (SoSe)*. IEEE, 2023.
- [174] TEIXEIRA, P. G.; LOPES, V. H. L.; SANTOS, R. P.; KASSAB, M.; GRACIANO-NETO, V. V. **The status quo of systems-of-information systems**. In: *Proceedings of the 7th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and 13th Workshop on Distributed Software Development, Software Ecosystems and Systems-of-Systems, SESoS-WDES '19*, p. 34–41. IEEE Press, 2019.

- [175] TEIXEIRA, V. L. M. O.; SILVA, E. A.; SENA, D. G. **Métodos de pesquisa científica na construção do conhecimento.** *Revista FACISA ON-LINE*, 13(1), aug 2025.
- [176] THE OPEN GROUP. **ArchiMate 3.2 Specification.** The Open Group, San Francisco, CA, USA, 3.2 edition, Oct 2024.
- [177] TIE, Y. C.; BIRKS, M.; FRANCIS, K. **Grounded theory research: A design framework for novice researchers.** *Open Medicine*, 7:1–8, Jan 2019.
- [178] TORKJAZI, M.; RAZ, A. K. **A taxonomy for system of autonomous systems.** In: *Proceedings of the 2022 17th Annual System of Systems Engineering Conference (SOSE)*, p. 198–203. IEEE, 2022.
- [179] TRICKER, R. **Corporate Governance: Principles, Policies, and Practices.** Prentice Hall, 5 edition, 2010.
- [180] TURNER, R.; YILMAZ, L.; SMITH, J.; LI, D.; CHADA, S.; SMITH, A.; TREGUBOV, A. **Datsem: A simulation suite for sose management research.** In: *2016 11th System of Systems Engineering Conference (SoSE)*, p. 1–6, 2016.
- [181] VAN GREMBERGEN, J.; DE HAES, S. **It governance: A review of the literature and directions for future research.** *International Journal of IT Governance and Management*, 1(1):7–21, 2007.
- [182] VANEMAN, W. K.; JASKOT, R. D. **A criteria-based framework for establishing system of systems governance.** In: *Proceedings of the 2013 IEEE International Systems Conference (SysCon)*, p. 491–496. IEEE, 2013.
- [183] VANHALA, E.; KASURINEN, J.; KNUTAS, A.; HERALA, A. **The application domains of systematic mapping studies: A mapping study of the first decade of practice with the method.** *IEEE Access*, 10:37924–37937, 2022.
- [184] VARGAS, I. G. **HomeSoS: a conceptual framework to support system of systems management.** Tese de doutorado, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, Sep 2024.
- [185] VIEIRA, R. **Modelos científicos e práticas educativas: (breve incursão no séc. xx).** *A Página da Educação*, 8(79):22, Apr 1999. Escola Superior de Educação de Leiria – Portugal.
- [186] VIERHAUSER, M.; RABISER, R.; GRÜNBACHER, P. **A requirements monitoring infrastructure for very-large-scale software systems.** In: *REFSQ 2014:*

- Proceedings of the 20th International Working Conference on Requirements Engineering: Foundation for Software Quality*, volume 8396, p. 88–94, Apr 2014.
- [187] VOM BROCKE, J.; HEVNER, A.; MAEDCHE, A., editors. **Design Science Research. Cases**. Progress in IS. Springer Nature Switzerland, Cham, Switzerland, 2020.
- [188] WAGNER, S.; MÉNDEZ, D.; FELDERER, M.; GRAZIOTIN, D.; KALINOWSKI, M. **Challenges in survey research**. In: FELDERER, M.; TRAVASSOS, G. H., editors, *Contemporary Empirical Methods in Software Engineering*, p. 93–125. Springer, 2020.
- [189] WALTERS, D.; MOORTHY, S.; CARTER, B. **System of systems engineering and enterprise architecture: Implications for governance of complex systems**. *International Journal of System of Systems Engineering*, 5(3):248–262, 2014.
- [190] WANG, R. Y.; LEE, Y. W.; PIPINO, L. L.; STRONG, D. M. **Data governance: A framework for data management decision making**. *Journal of Data and Information Quality*, 2(4):1–16, 2011.
- [191] WANG, Z.; SHI, H.; HE, X.; XU, H. **A conceptual model supporting systematic design of service governance systems**. In: *Proceedings of the 2022 IEEE International Conference on Service-Oriented System Engineering (SOSE)*, p. 99–104. IEEE, 2022.
- [192] WAZLAWICK, R. S. **Uma reflexão sobre a pesquisa em ciência da computação à luz da classificação das ciências e do método científico**. *Revista de Sistemas de Informação da FSMA*, 1(6):3–10, 2010.
- [193] WAZLAWICK, R. S. **Metodologia de pesquisa para ciência da computação**. GEN LTC, Rio de Janeiro, 3 edition, 2020.
- [194] WEGNER, P. **Towards empirical computer science**. *The Monist*, 82(1):58–108, 1999.
- [195] WEILL, P.; ROSS, J. W. **IT Governance: How Leaders Manage Decision Rights for IT Investments**. Harvard Business School Press, Boston, MA, 2004.
- [196] WHALEN, M. J. **Sarbanes-Oxley Act: Planning and Implementing Compliance**. Wiley, Hoboken, NJ, 2004.
- [197] WITHALL, S. **Software Requirement Patterns**. Microsoft Press, Redmond, Washington, 2007.

- [198] WOHLIN, C. **Case study research in software engineering - it is a case, and it is a study, but is it a case study?** *Information and Software Technology*, 133, 2021.
- [199] WOHLIN, C.; RAINER, A. **Is it a case study? a critical analysis and guidance.** *Journal of Systems and Software*, 192, 2022.
- [200] WOHLIN, C.; RUNESON, P.; HÖST, M.; OHLSSON, M. C.; REGNELL, B.; WESSLÉN, A. **Experimentation in Software Engineering.** Springer Publishing Company, Incorporated, 2012.
- [201] WU, C.; CAVES, R. **Research review of air traffic management.** *Journal of Air Transport Management*, 22(1), 2002.
- [202] YASIN, A.; FATIMA, R.; WEN, L.; AFZAL, W.; AZHAR, M.; TORKAR, R. **On using grey literature and google scholar in systematic literature reviews in software engineering.** *IEEE Access*, 8:36226–36243, 2020.
- [203] YOKELL, M. **Overview of system of systems (sos) managerial and operational affinity : Assessing and improving relationships within systems of systems.** In: *Proceedings of the 13th Annual Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*, p. 438–443. IEEE, 2018.
- [204] ZAIDAN, F.; BAX, M.; PARREIRAS, F. S. **Design science research: Aplicação em um projeto de pesquisa e desenvolvimento.** In: *13th CONTECSI International Conference on Information Systems and Technology Management*, p. 3757–3774, Jun 2016.
- [205] ZHANG, W.; YAN, X.; WU, C. **Research and development of intelligent transportation systems.** In: *11th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering & Science*, p. 321–327, Guilin, China, 2012.

Governança de Sistemas-de-Sistemas - Um Mapeamento Sistemático da Literatura

Considerando o pressuposto de que podem existir diversos benefícios relacionados à SoSG, o propósito deste apêndice é apresentar detalhamento do protocolo e as etapas de extração e síntese dos dados de um estudo secundário na forma de um mapeamento sistemático, que tem como objetivo principal identificar e analisar a literatura disponível sobre o assunto, por meio da análise de estudos primários que evidenciem a utilização dos princípios de governança na área SoS e como isso ocorre na prática, visando responder às seguintes perguntas: (i) entender o que é a governança no contexto de SoS, (ii) como a governança é usada nesse contexto e (iii) como avaliar esta utilização. Para alcançar o objetivo proposto, foi estabelecido um protocolo de estudo secundário que segue os princípios de estudos sistemáticos [48, 91, 141], incluindo definição de questões de pesquisa, identificação, seleção e avaliação de estudos, extração e síntese de dados.

Além de alcançar o objetivo proposto neste estudo, analisar a literatura sobre Governança de SoS é importante porque permite (i) identificar as principais oportunidades de pesquisa na área, por meio da identificação dos desafios mais comuns e as melhores práticas para superá-los; (ii) comparar diferentes modelos de governança, por meio da análise dos diferentes modelos propostos na literatura e identificação daquele que melhor se adapta às características de cada SoS; (iii) aprender com os relatos de experiência e com os estudos de caso observados, através do entendimento dos sucessos e fracassos de outras propostas de governança de SoS, evitando erros e adotando as melhores práticas; e (iv) desenvolver propostas que possam ser utilizadas na prática, como modelos ou frameworks de governança de SoS que possam ser instanciados em situações reais, por exemplo. Além disso, há poucas revisões bibliográficas sobre o assunto, [32, 83] são exemplos de trabalhos mais recentes, o que pode representar uma oportunidade de contribuição relevante de pesquisa na área.

A.1 Protocolo do Mapeamento Sistemático

O protocolo do estudo definido neste artigo foi baseado em cinco etapas [48, 91, 141]: definição das informações gerais, das questões de pesquisa, identificação, seleção e avaliação de estudos relevantes, extração e síntese de dados, e apresentação de resultados. A Figura A.1 ilustra as etapas do macroprocesso e estão descritas nas próximas subseções.

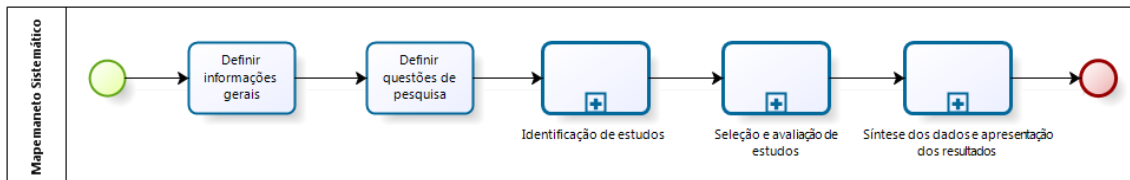


Figura A.1: Macroprocesso de Mapeamento Sistemático.

A.1.1 Informações Gerais Sobre o Mapeamento

- **Título:** Governança de Sistemas-de-Sistemas: Um Mapeamento Sistemático da Literatura.
- **Pesquisadores:** Edison Andrade Martins Moraes, Eliomar Araújo de Lima, Valdemar Vicente Graciano-Neto.
- **Descrição:** Devido à natureza das áreas de Governança e SoS, e da interação inerente entre ambas, pressupõe-se que existam benefícios advindos da aplicação dos princípios de Governança na área de SoS.
- **Objetivo:** Apresentar um estudo secundário na forma de um mapeamento sistemático, que visa identificar e analisar estudos primários que evidenciem a utilização dos princípios de governança na área SoS e como isso ocorre na prática, com objetivo principal de: (i) Entender o que é a governança no contexto de SoS; (ii) Como a governança é usada neste contexto; (iii) Como avaliar esta utilização.

A.1.2 Questões de Pesquisa

Considerando que as Questões de Pesquisa (QP) guiam a condução do mapeamento, as atividades de busca, seleção e extração de dados, que influenciam diretamente na atividade de análise e sumarização dos dados extraídos a partir dos estudos selecionados, o principal objetivo deste mapeamento sistemático, que é mostrar como os princípios de Governança são aplicados à área de SoS, e as variáveis definidas por meio do método PICO (População, Intervenção, Comparação e Resultados) [137], cuja população (se refere ao grupo de indivíduos ou sistemas sobre os quais a pesquisa será realizada) considerada foi a área de SoS, e a intervenção (fator ou tratamento que está sendo estudado) é a governança, as seguintes QPs, seguidas de suas justificativas, foram propostas:

- **QP1. O que é a governança no contexto de SoS?**
 - Considerando que no contexto dos SoS a governança tem objetivo de garantir que os sistemas individuais funcionem de forma harmoniosa e eficaz em conjunto, e que este objetivo é diferente da visão tradicional da governança, responder a esta questão irá ajudar a determinar se existem pesquisas relacionadas à utilização dos princípios de governança na área de SoS.
- **QP2. Como os princípios de governança têm sido usados no contexto de SoS?**
 - Ao responder a essa questão de pesquisa, pretende-se determinar como os princípios de governança são utilizados de forma concreta na área de SoS. Também pretende-se verificar se as propostas de utilização destes princípios não ocorrem apenas no campo teórico, por meio de propostas que nunca foram utilizadas ou avaliadas, e se existem, de fato, casos reais de utilização.
- **QP3. Como avaliar o uso da governança em SoS, e quais são as métricas usadas na avaliação?**
 - Ao responder essa questão de pesquisa, pretende-se verificar quais são as métricas, modelos e normas utilizadas na avaliação do uso dos princípios de governança na área de SoS.

Em estudo conduzido por Kudo et al. [93], há a definição de questões de pesquisa semelhantes, porém no contexto da Engenharia de Software, com objetivo de identificar propostas de uso de Padrões de Requisitos [197], e avaliar qual o seu impacto nas demais fases do ciclo de vida de desenvolvimento software, além da própria etapa de engenharia de requisitos. A identificação de questões semelhantes em outro estudo mostra que abordagem semelhante já foi utilizada. Logo, não se trata de uma proposta de questões de pesquisa diferente de qualquer outra já criada, mas sim o reuso de uma estrutura já validada por pares em outro estudo anterior, justificando a estruturação das questões de pesquisa neste formato.

A.1.3 Identificação de Estudos

O processo utilizado para identificação de estudos foi baseado em cinco atividades: definir palavras-chave, criar strings de busca, definir critérios de seleção das fontes de busca, listar as fontes de busca e definir a estratégia de busca, que podem ser visualizadas na Figura A.2.

A definição das palavras-chave e seus sinônimos foi realizada a partir da leitura de referências na área [109, 125, 150], e colaboração de especialistas, ouvidos por meio de entrevistas realizadas de forma presencial. Foram selecionadas aquelas que melhor caracterizavam o tema, e permitiriam uma busca eficaz dos estudos relacionados.

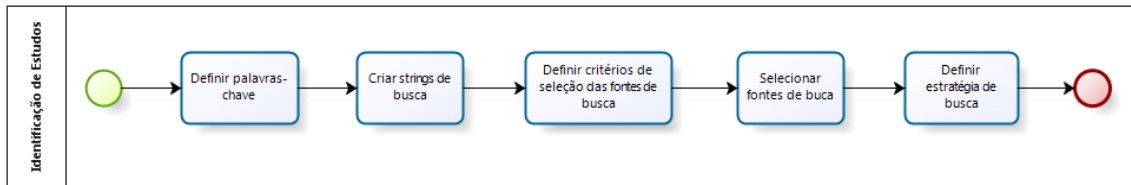


Figura A.2: *Processo de Identificação dos Estudos.*

Como resultado dessa análise, o seguinte conjunto de palavras-chave, em inglês, foi definido: *governance*, *compliance*, *systems-of-systems*, *system-of-systems*, *systems of systems* e *system of systems*. Visando alcançar o maior nível de abrangência e relevância de resultados, foi definida a seguinte string de busca, onde as palavras-chave foram conectadas por operadores lógicos (*AND* e *OR*):

(“*governance*” *OR* “*compliance*”)

AND

(“*systems-of-systems*” *OR* “*system-of-systems*” *OR* “*systems of systems*” *OR* “*system of systems*”)

Em seguida, foram selecionadas as seguintes fontes de pesquisa: *ACM Digital Library* (expandida para *ACM Guide to Computing Literature*), *IEEE Xplore*, *Scopus*, *Engineering Village (EV)*, *Web Of Science (WS)* e *Google Scholar (GS)*. A escolha destas bases se justifica pela relevância, reputação e representatividade das mesmas na área de computação como um todo, para a área de Governança, SoS, e para associação entre elas. Também foram consideradas fontes com mecanismo de busca disponível na Internet, com suporte a expressões booleanas, que possibilitam busca sobre metadados, e no mínimo, sobre o resumo/*abstract*, que exportam resultados de busca para múltiplos formatos, com acesso disponível pelas principais ferramentas de apoio a mapeamentos sistemáticos. Finalmente, foi definida a estratégia de busca, em que, para cada base científica, foi criada uma *string* de pesquisa adaptada a partir de uma genérica definida nesta seção, uma vez que a sintaxe pode variar de acordo com a fonte. A busca realizada foi automática, sem filtro temporal e aplicada aos metadados (título, resumo e palavras-chave). O nome da fonte, a string de busca adaptada e a quantidade de estudos retornados por fonte, nas buscas realizadas em 16/02/2023, são apresentados a seguir:

- **Fonte:** *ACM Digital Library (The ACM Guide to Computing Literature)*

– **String de Busca:**

[[*Abstract*: “*governance*”] *OR* [*Abstract*: “*compliance*”]] *AND* [[*Abstract*: “*systems-of-systems*”] *OR* [*Abstract*: “*system-of-systems*”] *OR* [*Abstract*: “*systems of systems*”] *OR* [*Abstract*: “*system of systems*”]]; [[*Title*: “*governance*”] *OR* [*Title*: “*compliance*”]] *AND* [[*Title*:

“systems-of-systems”] OR [Title: “system-of-systems”] OR [Title: “systems of systems”] OR [Title: “system of systems”]]

– **Quantidade de Estudos Retornados:** 42.

• **Fonte:** *IEEE Xplore*

– **String de Busca:**

((“All Metadata”:governance OR “All Metadata”:compliance) AND (“All Metadata”:systems-of-systems OR “All Metadata”:system-of-systems OR “All Metadata”:“systems of systems” OR “All Metadata”:“system of systems”))

– **Quantidade de Estudos Retornados:** 116.

• **Fonte:** *Scopus*

– **String de Busca:**

TITLE-ABS-KEY ((“governance” OR “compliance”) AND (“systems-of-systems” OR “system-of-systems” OR “systems of systems” OR “system of systems”))

– **Quantidade de Estudos Retornados:** 246.

• **Fonte:** *Engineering Village*

– **String de Busca:**

(((“governance” OR “compliance”) AND (“systems-of-systems” OR “system-of-systems” OR “systems of systems” OR “system of systems”)) WN KY)

– **Quantidade de Estudos Retornados:** 193.

• **Fonte:** *Web Of Science*

– **String de Busca:**

TS=((“governance” OR “compliance”) AND (“systems-of-systems” OR “system-of-systems” OR “systems of systems” OR “system of systems”))
**TS: título, resumo, as palavras-chave.*

– **Quantidade de Estudos Retornados:** 147.

• **Fonte:** *Google Scholar*

– **String de Busca:**

TS=((“governance” OR “compliance”) AND (“systems-of-systems” OR “system-of-systems” OR “systems of systems” OR “system of systems”))

- **Quantidade de Estudos Retornados:** 17400 (foram considerados os 60 primeiros).

A pesquisa na fonte *ACM Digital Library* foi feita em duas etapas, uma vez que a ferramenta não permitia a aplicação da busca no *abstract* e título do documento utilizando a mesma *string*. Já para a fonte *Google Scholar* foram considerados apenas os primeiros 60 resultados, uma vez que a ferramenta retornou 17400 estudos, quantidade considerada excessiva. A escolha pelos 60 primeiros se justificou pelo fato de que foi observado que, a partir desta posição, os estudos já não apresentavam mais relação efetiva com o assunto. Porém, considerando que mesmo assim a utilização desta fonte, e da quantidade de resultados considerados, poderia ser alvo de questionamentos, visto que utiliza um mecanismo de busca baseado no Google, sujeito a atualizações constantes, o que poderia comprometer a replicabilidade da busca, a sua inclusão se justifica por dois fatores principais: (i) foram encontrados outros 5 estudos que foram aceitos, e não estavam em outras bases de dados. (ii) foram encontrados outros estudos primários [183], secundários [9] e terciários¹ [202] que também fizeram uso dessa fonte para obtenção de seus resultados, demonstrando que sua utilização também pode ser considerada importante, em alguns casos, para os resultados de mapeamentos sistemáticos.

Yasin et al. [202], por exemplo, apresentam um estudo terciário que investiga a eficácia do *Google Scholar* como ferramenta para a recuperação de estudos primários em revisões sistemáticas da literatura em engenharia de software. Os resultados demonstram a importância desta ferramenta como um recurso que tende a ser valioso para pesquisadores que realizam este tipo de mapeamento, uma vez que foi capaz de recuperar 96% (132 de 138 analisados) dos estudos primários utilizados nos estudos secundários analisados, sendo que a maior parte dos estudos que não foram encontrados na máquina de busca eram Literatura Cinza [108]. O estudo cita ainda os seguintes benefícios da utilização do *Google Scholar*: (i) abrangência: permite que os pesquisadores encontrem estudos publicados em diversas fontes, incluindo periódicos acadêmicos, conferências, repositórios institucionais e sites pessoais, (ii) eficiência: é uma ferramenta fácil de usar e permite que os pesquisadores encontrem rapidamente estudos relevantes, (iii) inclusão da Literatura Cinza: em casos que este tipo de estudo é considerado, trata-se de uma ferramenta eficaz na sua recuperação, o que é importante para obter uma visão mais completa das pesquisas realizadas na área. Entretanto, o estudo enfatiza que esta ferramenta deve ser utilizada sempre em conjunto com outras ferramentas de busca em bases de dados especializadas, para garantir a recuperação do máximo de estudos relevantes que devem ser considerados em revisões sistemáticas da literatura.

¹É uma revisão cujos estudos considerados são secundários (revisões ou mapeamentos sistemáticos) [91]

Finalmente, o resultado da aplicação das *strings* de busca resultou na seleção de um total de 804 estudos que, na sequência, foram submetidos à etapa de seleção e avaliação, descrita a seguir.

A.1.4 Seleção e Avaliação dos Estudos

No processo de seleção e avaliação dos estudos foram definidas três atividades: definição dos critérios de inclusão e exclusão dos estudos; da estratégia de seleção; avaliação de qualidade, que podem ser visualizadas na Figura A.3.

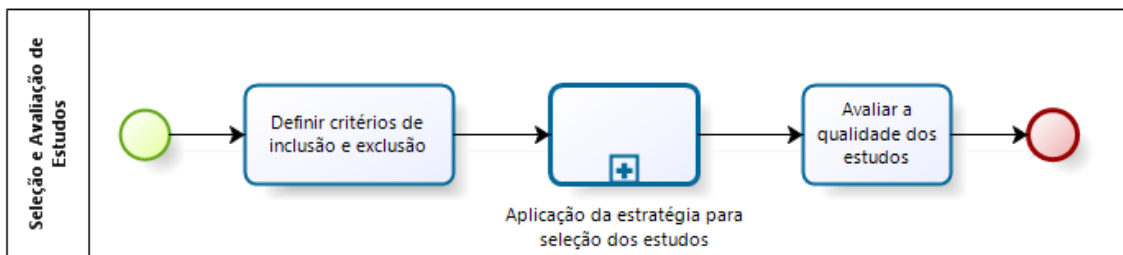


Figura A.3: *Processo de Seleção e Avaliação dos Estudos.*

Na etapa de definição dos Critérios de Inclusão (CI) e Exclusão (CE) dos estudos, foram definidos os critérios utilizados para incluir os estudos relevantes e descartar os não relevantes. Estes critérios foram definidos pelos autores dos artigos, com base em sua experiência na condução de mapeamentos semelhantes. Visando principalmente evitar o viés dos pesquisadores, e melhorar a qualidade dos estudos selecionados, outros mapeamentos serviram como referência para definição dos critérios, como Kudo [93], por exemplo. Estes critérios são descritos a seguir:

- **Critérios de Inclusão:**

- **CI1:** É um estudo primário relacionado à Governança de SoS.

- **Critérios de Exclusão:**

- **CE1:** Não é um estudo primário.
- **CE2:** Não é um estudo publicado em anais de eventos ou periódicos (não foi submetido a revisão por pares, ou seja, literatura cinza).
- **CE3:** Não está relacionado à aplicação dos Princípios de Governança² em SoS.
- **CE4:** O texto completo não está em inglês.
- **CE5:** Texto completo não está disponível para acesso.

²São as diretrizes que orientam a gestão e o controle desse tipo de sistema complexo. Eles visam assegurar a coordenação, a colaboração e a tomada de decisão eficaz entre os diferentes SCs e *stakeholders* envolvidos.

- **CE6:** É uma versão preliminar ou reduzida de outro estudo já incluído.
- **CE7:** Está relacionado apenas à Governança.
- **CE8:** Está relacionado apenas a SoS.

Após a aplicação da *string* de busca nas bases selecionadas, foi definida uma estratégia de seleção dos estudos com as seguintes atividades: identificação e remoção de estudos duplicados; aplicação dos critérios de inclusão e exclusão a partir da leitura do título, resumo e palavras-chave de cada estudo não-duplicado; aplicação dos critérios de inclusão e exclusão a partir da leitura do texto completo de cada estudo restante do passo anterior; extração e síntese dos dados. Em ambas as etapas a identificação das palavras-chave a partir do título, resumo ou palavras-chave, em seguida no texto completo, foi contemplada considerando as critérios de inclusão e exclusão, especialmente CI1, CE3, CE7 e CE8, que exigiram um entendimento ainda mais aprofundado dos estudos selecionados para sua aplicação. A ferramenta Microsoft Excel foi utilizada como apoio à aplicação da estratégia de mapeamento, ilustrada na Figura A.4, que mostra a quantidade de estudos duplicados, rejeitados, e o número de estudos resultantes após cada atividade.

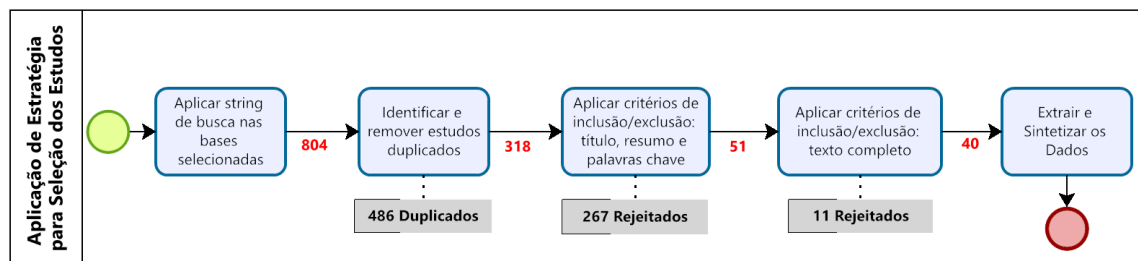


Figura A.4: *Estratégia para Seleção dos Estudos.*

A aplicação da string de buscas identificou 804 estudos, sendo 486 duplicados. Os 318 restantes foram então submetidos a CI e CE a partir da leitura do título, resumo e palavras-chave, que resultou na seleção de 51 estudos que foram lidos na íntegra. O detalhamento da quantidade de estudos excluídos nesta etapa, quantificados por CE e base, está representado na Tabela A.1. Já o quantitativo de estudos encontrados, duplicados, analisados, rejeitados e aceitos, também classificados por base, pode ser visualizado na Tabela A.2.

Tabela A.1: Detalhamento do Quantitativo de Exclusões por Base

Critério	ACM	IEEE	Scopus	EV	WS	GS	Total	%
CE1	3	0	2	3	0	0	8	3,00
CE2	0	4	23	0	0	4	31	11,61
CE3	26	48	80	13	6	3	176	65,92
CE4	0	0	0	0	0	0	0	0,00
CE5	0	0	0	0	0	0	0	0,00
CE6	0	0	0	0	0	0	0	0,00
CE7	0	6	0	0	0	0	15	15,62
CE8	0	19	7	0	0	11	37	13,86
	29	77	121	16	6	18	267	

A maior parte dos estudos (176) foi excluído pelo critério três (C3), pois não estavam relacionados à aplicação dos princípios de SoSG, seguidos pelos critérios oito (37), dois (31), sete (15) e um (8). Não houve artigos excluídos pelos critérios quatro, cinco e seis. Não foram levantadas hipóteses ou realizados estudos mais aprofundados sobre a inclusão ou não de estudos considerando os critérios de inclusão e exclusão. Poderia haver suposição, por exemplo, que CII seria redundante em relação a CE1, CE3, CE7 e CE8, porém houve entendimento que todos os critérios definidos foram importantes e complementares, de maneira que os estudos selecionados fossem apenas aqueles realmente relacionados aos assuntos.

Tabela A.2: Quantitativo de estudos encontrados, duplicados, analisados, rejeitados e aceitos por Critério/Base

Base	Encontrados	Duplicados	Analisados	Rejeitados	Incluídos	%
ACM	42	0	42	29	13	25,49
IEEE	116	23	93	77	16	31,37
Scopus	246	108	138	121	17	33,33
EV	193	177	16	16	0	0,00
WS	147	141	6	6	0	0,00
GS	60	37	23	18	5	9,80
	804	486	318	267	51	

Todos os estudos incluídos pertenciam às bases *ACM*, *IEEE*, *Scopus* e *Google Scholar*. As bases *Engineering Village* e *Web Of Science* não contribuíram para o conjunto selecionado, pois os estudos relacionados ao tema encontrados nestas bases estavam duplicados. A base *ACM* não teve duplicados porque foi a primeira base a ser analisada, porém dos 42 estudos retornados (ou seja, as replicações aconteciam com base nos estudos

já incluídos a partir dela), 38 (90,47%) também foram encontrados em outras bases após sua análise, sendo que em alguns casos em mais de uma. Dos 51 estudos incluídos, 46 estavam presentes em mais de uma base, sendo que alguns foram encontrados em todas as bases. Já os cinco incluídos na base *Google Scholar* não foram encontrados em outras bases. Os estudos resultantes foram então submetidos à leitura de seu texto completo, e novamente foram aplicados CI e CE, o que resultou na eliminação de mais 11 estudos.

Um estudo foi excluído pelo critério CE1, pois se tratava de um estudo secundário na forma de revisão sistemática. Entretanto, por se tratar de um estudo relevante, o estudo foi incluído como trabalho relacionado e seus resultados foram mencionados na seção correspondente. Dois estudos foram excluídos pelo critério dois, pois se tratavam de literatura cinzenta, sendo um deles o capítulo de um livro e o outro uma publicação de governança de SoS de um órgão do governo americano. Outros oito estudos foram excluídos pelo critério três, pois todos eram sobre governança de sistemas complexos, que neste mapeamento não foi considerado como sinônimo de SoS, apesar deste ser considerado um tipo de sistema complexo. Os 40 estudos devidamente incluídos estão listados e identificados a seguir pelo seu identificador (Id), título, autor principal e ano.

- **A01:** *A criteria-based framework for establishing system of systems governance* [182].
- **A02:** *A Framework for Development Process Design and its use for Establishing Intellectual Property Governance: Introduction of the PROVE framework using a case study* [161].
- **A03:** *A Framework for Optimizing Effort in Testing of System of Systems* [14].
- **A04:** *A Governance Model for Local and Interconnecting Arrowhead Clouds* [69].
- **A05:** *A governance perspective for system-of-systems* [82].
- **A06:** *A proposal for system of systems organization and governance: application to a Depollution Network* [34].
- **A07:** *A Requirements Monitoring Infrastructure for Very-Large-Scale Software Systems* [186].
- **A08:** *A Semantically-Enriched Quality Governance Framework for Systems of Systems applied to Cancer Care* [144].
- **A09:** *A systemic approach to governance in extended enterprise systems* [113].
- **A10:** *A systems approach to governance in Maritime Transportation System of Systems* [112].
- **A11:** *A systems-of-systems security framework for requirements definition in cloud environment* [158].
- **A12:** *Abandonment: A natural consequence of autonomy and belonging in systems-of-systems* [154].

- **A13:** *A Smart City transportation System of Systems Governance Framework: A Case Study of Singapore* [102].
- **A14:** *AGSOA - Agile Governance for Service Oriented Architecture (SOA) Systems: A Methodology to Deliver 21st Century Military Net-Centric Systems of Systems* [166].
- **A15:** *Aligning analysis and engineering decision-making within a military distributed system of systems* [152].
- **A16:** *An initial perspective on governing a system of systems* [107].
- **A17:** *Challenges in providing sustainable analytic of system of systems with long life time* [66].
- **A18:** *Competencies for governance of complex systems of systems* [24].
- **A19:** *Coupling quantitative vulnerability assessment and complex system governance for systems of systems* [106].
- **A20:** *Data governance for SoS* [30].
- **A21:** *DATASEM: A simulation suite for SoSE management research* [180].
- **A22:** *Distributed Project Governance Assessment (DPGA): Contextual, hands-on analysis for project governance across sovereign boundaries* [5].
- **A23:** *Evaluating Australia's most complex system-of-systems, the future submarine: A case for using new Complex Systems Governance* [23].
- **A24:** *Governance and Autonomy: Towards a Governance-based Analysis of Autonomy in Cyber-Physical Systems-of-Systems* [56].
- **A25:** *Governance implications for meeting challenges in the system of systems engineering field* [86].
- **A26:** *Governance in systems of systems: A systems-based model* [32].
- **A27:** *Governance mechanism pillars for systems of systems* [42].
- **A28:** *Governance of collaborative system of systems* [127].
- **A29:** *Identifying Governance Best Practices in Systems-of-Systems Acquisition* [15].
- **A30:** *Implementing a methodology for governing SOSE analysis* [29].
- **A31:** *Major challenges of systems-of-systems with cloud and DevOps: a financial experience report* [157].
- **A32:** *On the verification of mission-related properties in software-intensive systems-of-systems architectural design* [164].
- **A33:** *OntoSoS.QM.Gov: A Quality Governance Framework for Systems of Systems* [143].
- **A34:** *Survey on Trust in Software Engineering for Autonomous Dynamic Ecosystems* [28].
- **A35:** *System and software assurance — Rationalizing governance, engineering*

practice, and engineering economics [38].

- **A36:** *System of systems approach to maritime transportation governance* [111].
- **A37:** *System of systems engineering and enterprise architecture: Implications for governance of complex systems* [189].
- **A38:** *The impact of governance approaches on SoS environments* [22].
- **A39:** *Toward Systemic Governance of Cancer Treatment as a System of Systems* [61].
- **A40:** *Towards a governance dashboard for smart cities initiatives: a system of systems approach* [138].

Uma vez selecionados os estudos, as próximas etapas envolveram o processo de extração, síntese dos dados e apresentação dos resultados, onde foram definidas três atividades: estratégia de extração, sumarização e publicação dos dados, que podem ser visualizadas na Figura A.5.

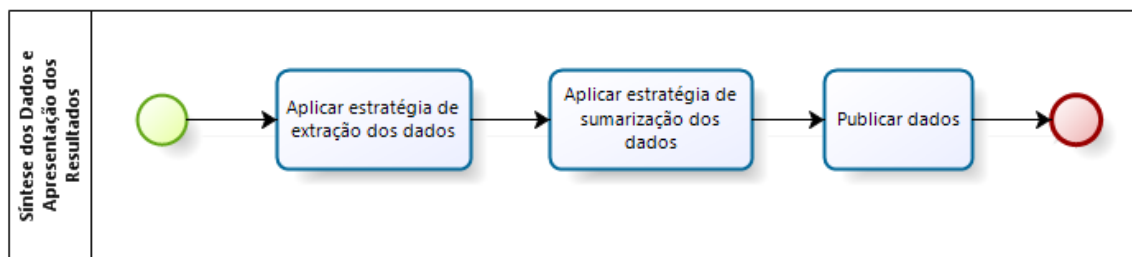


Figura A.5: *Estratégia para Extração, Síntese dos Dados e Apresentação dos Resultados.*

Na etapa de aplicação da estratégia de extração dos dados, foi definida a forma pela qual as informações de cada estudo seriam extraídas e quais dados de extração, na aplicação das estratégias de sumarização dos dados, foi definida a forma de sumarização e o tipo de análise a ser realizada, na etapa de publicação, foi definida a forma pela qual os dados seriam disponibilizados aos interessados. A Seção 4 apresenta os detalhes destas atividades.

A.2 Extração e Síntese dos Dados

O processo de extração dos dados foi baseado na leitura completa dos 40 estudos considerados relevantes (A01 a A40) para este mapeamento. Sob o ponto de vista metodológico, o processo de extração (que pode ocorrer em paralelo à atividade de seleção) é uma atividade na qual são obtidos dados a partir da leitura completa dos estudos primários incluídos na atividade de seleção, cujo objetivo é registrar, de maneira precisa, os dados necessários para responder às questões de pesquisa estabelecidas em Felizardo et al. [48] apud Kitchenham et al. [91]. Os primeiros dados coletados foram os

metadados (título, autores, ano de publicação, etc.), necessários para identificação de cada estudo e posterior gerenciamento da extração, seguido dos dados considerados relevantes para responder às questões de pesquisa. Em alguns casos, dados considerados relevantes para esta resposta podem não estavam presentes ou apareceram de forma pouco detalhada nos estudos analisados, de forma que pesquisas complementares (relatórios técnicos, dissertações, testes, página web, etc.) relacionadas ao estudo foram realizadas. Visando então a extração, para posterior síntese dos dados a respeito dos estudos, primeiramente estes foram quantificados conforme o ano de publicação, visualizado na Figura A.6.

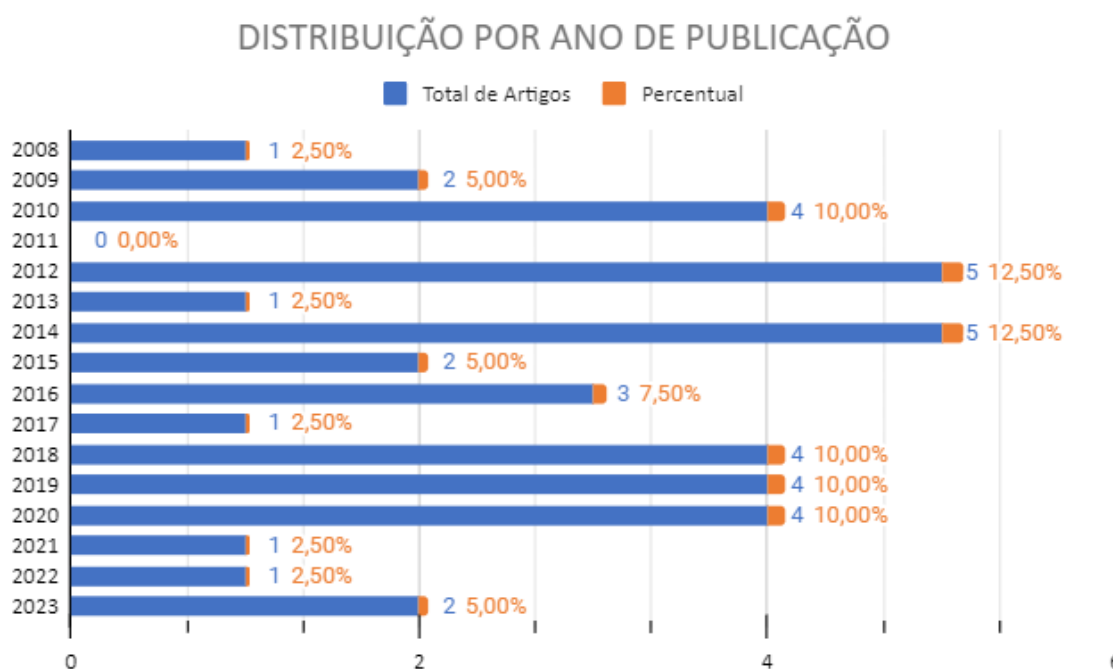


Figura A.6: Distribuição de Estudos por Ano de Publicação.

Em relação à distribuição por ano de publicação, é possível observar que os estudos relacionados ao assunto começaram a ser publicados em 2008, com picos de publicações nos anos de 2012 e 2014, e retração em 2021 e 2022. O pico de interesse no tópico aconteceu então na última década, com cinco estudos sendo publicados em 2012 e 2014. Observa-se ainda que nos últimos anos houve um número anual de publicações próximo ao pico de interesse, especialmente entre 2018 e 2020, com 12 publicações, sendo 3 ao ano. Também é importante ressaltar que em 2023 houve a publicação de dois estudos, o que demonstra um interesse ainda latente por parte da comunidade de SoS em investigar o assunto, apesar da aparente retração ocorrida nos anos de 2021 e 2022. Não foram levantadas hipóteses, entretanto, sobre os motivos pelos quais essa retração ocorreu.

Em seguida, os estudos foram classificados conforme o tipo de veículo de publicação, sendo consideradas as publicações em periódicos, conferências ou simpósios e workshops. Essa distribuição pode ser visualizada na Figura A.7.

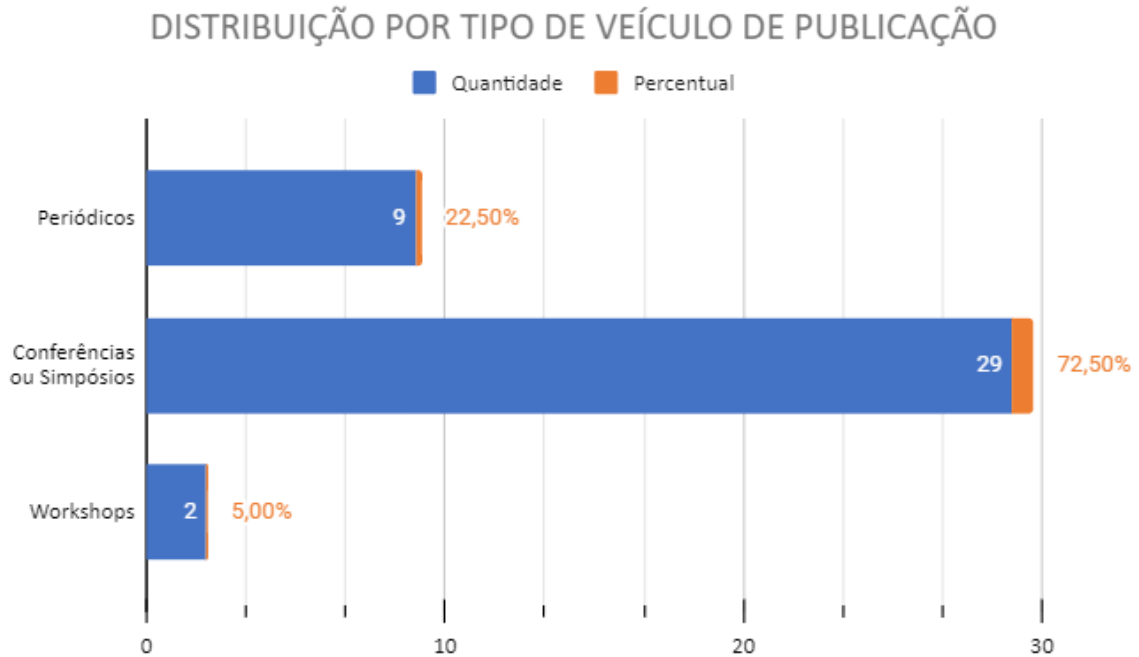


Figura A.7: Distribuição de Estudos por Tipo de Veículo de Publicação.

Em relação à distribuição por tipo de veículo, o maior volume de publicações ocorreu em conferências ou simpósios, seguido por periódicos e workshops. Essa distribuição mostrou um quantitativo menor de publicações em periódicos, o que pode ser analisado de forma crítica quanto a qualidade das publicações, uma vez que os periódicos geralmente têm um processo de revisão mais rigoroso em relação a outros veículos. Porém, também não significa que as publicações em conferências e workshops não tenham a mesma qualidade quando comparadas às publicações em periódicos. Observa-se ainda que a maioria das publicações entre os estudos incluídos aconteceu em conferências, o que leva a conjecturar que ainda não existam muitas pesquisas devidamente avançadas a ponto de serem publicadas em periódicos, evidenciando que ainda há oportunidades de investigação. Entretanto, pondera-se o grau de rigor na seleção de artigos nas conferências da área da computação, demonstrando que ainda assim há muitos resultados relevantes na área. Na sequência os estudos foram distribuídos pelo do veículo de comunicação, visualizado na Figura A.8.

Na distribuição por veículo de publicação, foi possível observar que a maioria dos estudos (11) foi publicado na conferência SOSE (*System-of-Systems Engineering Conference*), que é uma conferência internacional sobre os avanços na área de Engenharia de SoS (SoSE). É organizada anualmente pela *IEEE Systems Engineering Society* e pode ser considerada uma das mais importantes na área. Outros seis estudos foram publicados na ISC (*International Systems Conference*), também organizada pela IEEE, que também é considerada relevante, e se trata de uma conferência internacional que

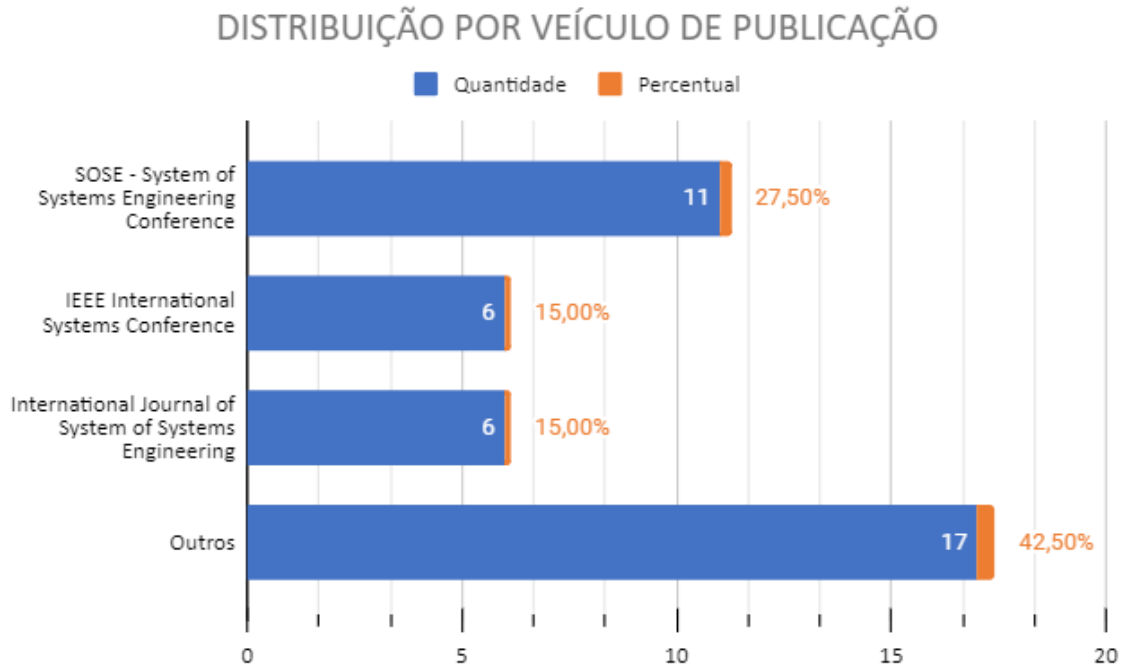


Figura A.8: Distribuição de Estudos por Veículo de Publicação.

reúne pesquisadores e profissionais de sistemas de todo o mundo para compartilhar suas pesquisas e experiências sobre sistemas complexos. No periódico IJSSEL (*International Journal of System of Systems Engineering*) também foram publicados seis estudos. Trata-se de um periódico revisado por pares que publica pesquisas originais sobre SoS. É publicado pela editora *Springer Nature*, considerada uma das principais revistas no campo de SOSE. Os outros 17 estudos foram publicados em veículos diferentes, tanto da área de SoS quanto de outras áreas, como engenharia de software ou informática aplicada à medicina, por exemplo, conforme detalhado a seguir, com o Id e o veículo de publicação.

- **A03:** *International Conference on Services in Emerging Markets (EMC)*.
- **A04:** *Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*.
- **A05:** *Advances in Systems Science and Applications (ASSA)*.
- **A07:** *International Working Conference on Requirements Engineering: Foundation for Software Quality (REFSQ)*.
- **A08:** *International Conference on Cancer Care Informatics (CCI 2018)*.
- **A11:** *European Conference on Software Architecture (ECSA)*.
- **A16:** *International Conference of the American Society for Engineering Management (ASEM)*.
- **A17:** *International Council on Systems Engineering (INCOSE)*.
- **A22:** *Workshop on Software Development Governance (ICSE)*.
- **A23:** *International Council on Systems Engineering (INCOSE)*.
- **A29:** *Annual Acquisition Research Symposium Proceedings & Presentations*.

- **A30:** *International Conference of the American Society for Engineering Management (ASEM).*
- **A31:** *International Conference of the American Society for Engineering Management (ASEM).*
- **A32:** *Science of Computer Programming.*
- **A33:** *Complex Systems Design & Management (CSD&M).*
- **A34:** *Symposium On Applied Computing (SIGAPP).*
- **A36:** *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board (TRR).*

Em seguida, os estudos foram classificados conforme o tipo de pesquisa de avaliação e validação, de acordo com taxonomia proposta em Felizardo et al. [48], p. 107, apud Petersen et al. [141], que pode ser visualizado na Figura 9, e demonstra que há predominância de estudos do tipo proposta de solução (13) e artigos de opinião (12). O restante dos estudos ficou dividido entre avaliação (5), validação (3), relatos de experiência (6) e um artigo filosófico. Propostas de solução são estudos que discutem novas soluções ou revisões de soluções, artigos de opinião envolvem estudos que apresentam a opinião de um ou mais pesquisadores sobre um determinado tópico de pesquisa, relatos de experiência discutem como algo foi feito na prática e artigos filosóficos são estudos que estruturam um campo de conhecimento de uma nova maneira [48], ilustrada Figura 8.

Já as avaliações e validações foram, em sua maioria, estudos em caso (ou indústria ou academia), exceto uma avaliação do tipo *Survey*. Pesquisas de avaliação referem-se a estudos que avaliam soluções da indústria, enquanto validação são estudos que validam novas soluções, ainda não implantadas na indústria. A distribuição detalhada dos estudos por tipo de pesquisa, conforme taxonomia definida em [48], e descrita a seguir, contendo o tipo da pesquisa, identificadores dos estudos, quantitativo e percentual.

- **Avaliação (Estudos de caso da indústria):** A03, A06, A13, A14 (4 - 10,0%).
- **Avaliação (Survey com Profissionais):** A34 (1 - 2,5%).
- **Validação (Estudo de caso na academia):** A02, A07, A32 (3 - 7,5%).
- **Proposta de Solução:** A01, A04, A05, A08, A09, A11, A15, A19, A23, A24, A26, A27, A33 (13 - 32,5%).
- **Artigo Filosófico:** A12 (1 - 2,5%).
- **Artigo de Opinião:** A16, A18, A20, A22, A25, A28, A29, A35, A36, A37, A38, A39 (12 - 30,0%).
- **Relato de Experiência:** A10, A17, A21, A30, A31, A40 (6 - 15,0%).

A classificação por método e tipo de pesquisa devem ser consistentes, principalmente no que diz respeito a diferenciação entre pesquisas de avaliação e validação [48].

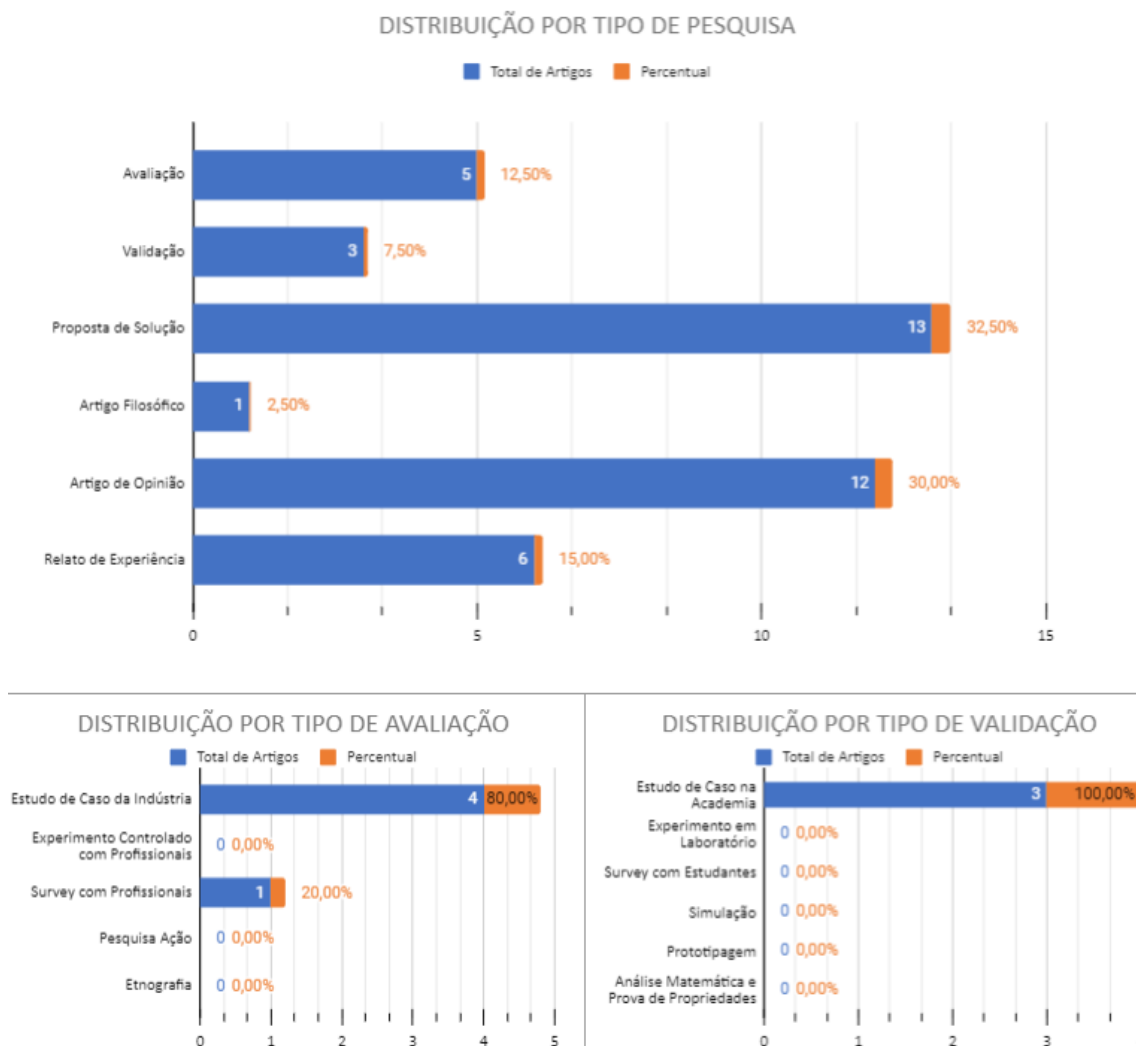


Figura A.9: Distribuição de Estudos por Tipo de Pesquisa, Tipo de Avaliação e Tipo de Validação.

Pesquisa ação e etnografia, por exemplo, são do tipo avaliação, já prototipagem, simulação e análise, e prova matemática são validações. Alguns métodos, entretanto, podem estar relacionados a ambos os tipos, como experimentos, *surveys* e estudos de caso que, quando realizados com estudantes, são do tipo validação, quando por profissionais, são avaliação. Finalmente, com objetivo de responder às QP, os seguintes dados foram extraídos dos estudos: resumo/objetivo do artigo; como ocorre a SoSG; se há uso prático da governança e, caso positivo, como é feito; conclusão do artigo.

Uma vez extraídos, os dados foram analisados e sintetizados, com o objetivo de responder às QP deste estudo. A atividade de síntese é essencial e tem como principal objetivo combinar os dados extraídos a partir dos estudos primários considerados. Pode ser realizada por diferentes métodos (meta-análise, síntese narrativa, temática ou comparativa qualitativa), cuja escolha deve ser pautada pelas características do mapeamento sistemático a ser realizado, como o tipo de estudo primário, os tipos de dados extraídos

ou quantidade de estudos disponíveis, por exemplo. Antes da escolha do método é importante determinar também a natureza dos dados que serão coletados. De forma geral, os dados podem ser classificados como quantitativos ou qualitativos. Dados quantitativos são numéricos, permitindo análises estatísticas e comparações quantitativas entre os estudos. Números de participantes, porcentagens, médias, desvios padrão, resultados de testes estatísticos, são exemplos. Já os dados qualitativos são descritivos, expressos em palavras, e se referem a experiências, percepções, opiniões e significados. Transcrições de entrevistas, observações de campo, documentos textuais podem ser usados como exemplos. Devido ao assunto e a natureza dos estudos selecionados, foi utilizado o método de síntese narrativa qualitativa neste mapeamento, por meio da organização e a interpretação dos dados dos estudos primários de forma textual, utilizando tabelas e figuras para ilustrar os resultados.

Na meta-análise os dados analisados são quantitativos, e seu objetivo é combinar os resultados estatísticos de múltiplos estudos para obter uma estimativa mais precisa e confiável do efeito de uma intervenção ou relação entre variáveis, envolvendo cálculos estatísticos para combinar os tamanhos de efeito dos diferentes estudos. Na síntese narrativa, os dados podem ser quantitativos ou qualitativos, e seu objetivo é apresentar um resumo narrativo dos resultados dos estudos, destacando os principais achados, divergências e lacunas na literatura, descrevendo as diferentes abordagens utilizadas para avaliar a qualidade de software em diferentes contextos. Na síntese temática, os dados também podem ser quantitativos ou qualitativos, e seu objetivo é identificar temas ou padrões comuns nos dados, construindo categorias e subcategorias para organizar a informação, utilizando a codificação dos dados, a identificação de temas recorrentes, e a construção de um esquema de categorização. Já na síntese comparativa qualitativa, os dados devem ser qualitativos, e seu objetivo é comparar e contrastar os resultados de diferentes estudos, identificando semelhanças, diferenças e padrões emergentes, por meio da comparação sistemática dos dados de diferentes estudos, utilizando matrizes ou tabelas para facilitar a análise.

Considerando os métodos listados, o primeiro item analisado de cada estudo foi o seu resumo/objetivo. Foram observadas as seguintes tendências de agrupamentos (classes): proposta de framework com, e sem estudo de caso; propostas de soluções sem avaliação ou estudo de caso; relatos de desafios, experiências e pesquisas. Os estudos e quantitativos de cada grupo são detalhados a seguir, considerando a classe do estudo, seus identificadores, quantitativo e percentual.

- **Proposta de modelo de governança de SoS (framework) com estudo de caso:**
A02, A03, A06, A08, A13, A14, A15, A26, A27, A33 (10 - 25,0%).
- **Proposta de modelo de Governança de SoS (framework) sem estudo de caso:**
A01, A11, A19, A40 (4 - 10,0%).

- **Descrições de soluções em governança de SoS sem avaliação ou estudo de caso:** A04, A05, A09, A22, A23, A24 (6 - 15,0%).
- **Relatos de desafios, opiniões, experiências e pesquisas:** A10, A12, A16, A17, A18, A20, A21, A25, A28, A29, A30, A31, A34, A35, A36, A37, A38, A39 (18 - 45,0%).
- **Modelos de verificação de requisitos de Governança de SoS sem estudo de caso.** A07, A32 (2 - 5,0%).

Nas propostas de modelos de Governança de SoS com estudo de caso, foram apresentados diversos *frameworks*³, com aplicações em várias áreas. A02 apresenta um *framework* para o desenho de processos de desenvolvimento e sua utilização para estabelecer a governança de propriedade intelectual; A03 para otimizar o esforço de testes em SoS; A06 para organização e governança de SoS; A08 para a governança da qualidade de SoS; A13 para sistemas de transporte em uma cidade inteligente na cidade de Singapura; A14 para a governança de SoS baseado em Arquitetura Orientada a Serviço (SOA); A15 de Processo de SoSE para o comando de material da força aérea americana; A26 um modelo de governança de SoS baseado em sistemas; A27 para analisar os pilares de Governança de SoS; A33 de governança de qualidade para SoS.

Já nas propostas de modelos de Governança de SoS sem estudo de caso, também foram apresentados diferentes *frameworks*, porém sem avaliação do modelo. A01 apresenta um *framework* para estabelecer a governança de SoS baseado em um conjunto de critérios que são relevantes para a governança de SoS; A11 de segurança para SoS na definição de requisitos em ambientes de nuvem; A19 para a governança de SoS que combina avaliação quantitativa de vulnerabilidade e governança de sistemas complexos; A40 de governança para iniciativas de cidades inteligentes baseado em SoS.

Em relação às descrições de soluções em Governança de SoS sem avaliação ou estudo de caso, A04 aborda a questão da governança em sistemas de nuvem *Arrowhead*, que são compostos por múltiplas nuvens locais interconectadas; A05 apresenta os principais desafios da governança de SoS e propõe um modelo que visa ajudar a garantir que esses sistemas sejam governados de forma eficaz e eficiente. A09 discute a importância da governança para o sucesso dos sistemas corporativos; A22 aborda a questão da governança de projetos distribuídos, ou seja, projetos que envolvem equipes e recursos localizados em diferentes fronteiras soberanas (como em SoS); A23 apresenta a governança do Future Submarine, um SoS complexo australiano; A24 aborda a análise da autonomia

³Um *framework* pode ser visto como um meio de fornecer orientação para o desenvolvimento de uma solução, o que pode ajudar a evitar erros comuns, ou seja, fornece a estrutura para orientar o desenvolvimento de uma solução.

em Sistemas Ciberfísicos de Sistemas (CPSoS)⁴ com base em uma perspectiva de governança.

Nos relatos de desafios, opiniões, experiências e pesquisas, A10 apresenta a aplicação de uma abordagem de sistemas para definir o Sistema de Transporte Marítimo (MTS) como um SoS; A12 o conceito de abandono de sistema como uma necessidade filosófica na definição de SoS; A16 uma perspectiva inicial sobre a governança de SoS; A17 os desafios enfrentados ao fornecer análises sustentáveis para SoS que têm uma vida útil prolongada. A18 propõe um conjunto de competências necessárias para a governança de SoS; A20 os desafios da governança de dados em SoS; A21 o desenvolvimento de uma suíte de simulação chamada DATASEM, projetada para apoiar pesquisas em gestão de SoS; A25 as implicações da Governança de SoSE, visando enfrentar os desafios encontrados nessa área. A28 discute a governança de SoS colaborativos (CoSoS); A29 identifica as melhores práticas de governança na aquisição de SoS; A30 apresenta uma metodologia para governar a análise de SoSE; A31 descreve o relato de uma experiência financeira que aborda os desafios enfrentados na implementação de SoS com o uso de tecnologias em nuvem e práticas de DevOps⁵. A34 apresenta um resumo da pesquisa sobre confiança na engenharia de software para ecossistemas dinâmicos autônomos; A35 a importância da governança, prática de engenharia e economia na garantia de sistemas e software; A36 o uso da abordagem de SoS para a governança do transporte marítimo; A37 argumenta que a SoSE e a EA podem ser usadas para melhorar a governança de sistemas complexos, tornando-os mais resilientes, adaptáveis e seguros. A38 descreve o impacto das abordagens de governança nos ambientes SoS; A39 Aborda a governança sistêmica do tratamento do câncer como um SoS.

Finalmente, em relação aos modelos de verificação de requisitos de Governança de SoS sem estudo de caso, foram encontrados dois estudos. A07 aborda a infraestrutura de monitoramento (acompanhar e verificar o atendimento contínuo) de requisitos para sistemas de software de grande escala; A32 a verificação de propriedades relacionadas à missão em SoS com ênfase em software. A partir da extração dos dados, a síntese dos resultados pode ser realizada e as questões de pesquisa foram respondidas, conforme descrito nas próximas subseções.

⁴Um Sistema Ciberfísico (do inglês, *Cyber-Physical System* ou CPS) é um tipo de sistema composto por elementos computacionais colaborativos, que funcionam por meio de uma integração que conecta o mundo físico ao digital. Um sistema onde computadores, redes de comunicação e processos físicos que trabalham juntos de forma inteligente, por exemplo.

⁵DevOps é uma abordagem para o desenvolvimento e a operação de software que integra e automatiza os processos de desenvolvimento (Dev) e operações (Ops). O objetivo do DevOps é melhorar a velocidade, a qualidade e a confiabilidade do desenvolvimento e da implantação de software.

A.2.1 Sobre a Questão de Pesquisa 1 (QP1)

Em resposta à questão de pesquisa “O que é a governança no contexto de SoS?”, foi possível observar que se trata de um conceito já definido na literatura, referenciado primeiramente por estudos entre 2008 e 2010. De forma resumida, a SoSG é importante porque ajuda a garantir que os SCs sejam integrados de forma eficaz e que o SoS como um todo atinja seus objetivos. Também ajuda a mitigar riscos, melhorar o desempenho e reduzir custos. Um dos primeiros estudos relacionados ao assunto, Sloane et al. [166] não trazem uma definição formal para SoSG, porém já apresenta o significado do termo governança neste contexto, cujo papel é recomendar de forma ampla o estabelecimento e a gestão de algum tipo de grupo especializado de sistemas, outros serviços e recursos, que visam garantir que os consumidores de serviços, provedores e elementos de infraestrutura funcionem de maneira confiável e em sincronia. Já a primeira definição formal para Governança de SoS é apresentada em 2010, por Buijs et al. [29], onde a Governança em Engenharia de SoS (SoSE, do inglês *System-of-Systems Engineering*) é definida como a aplicação de uma estrutura de princípios, práticas e processos para orientar e controlar o desenvolvimento e a operação de sistemas complexos e interconectados, com objetivo de garantir a coordenação eficaz, integração e sustentabilidade dos sistemas envolvidos, assegurando que os objetivos estratégicos sejam atingidos de maneira eficiente e adaptativa às mudanças e inovações tecnológicas.

Ao longo dos anos essa definição evoluiu, porém se manteve com sentido próximo aos conceitos apresentados em outros estudos iniciais. Katina et al. [83], definem Governança de SoS como uma estrutura focada na direção, supervisão e responsabilidades necessárias para garantir a coordenação e integração eficazes entre os SCs, destacando o conceito de Governança de Sistemas Complexos (CSG, do inglês *Complex System Governance*), que visa melhorar o desempenho do SoS por meio do *design*, execução e evolução intencionais das funções essenciais do metassistema. A governança, neste contexto, aborda os desafios impostos pela natureza ambígua, emergente e incerta dos sistemas modernos, proporcionando uma abordagem estruturada para gerenciar essas complexidades de forma eficaz. No estudo mais recente encontrado, Chebbi et al. [34], SoSG é definida com base em quatro pilares: (i) coordenação e integração: garantir que os sistemas individuais colaborem eficientemente, mesmo que mantenham sua autonomia operacional, (ii) estrutura organizacional: definir papéis e responsabilidades claras para os diferentes sistemas e suas interações, (iii) mecanismos de controle: implementar processos e ferramentas que monitoram, avaliam e ajustam o desempenho dos sistemas individuais e do SoS como um todo, (iv) flexibilidade e adaptabilidade: permitir que o SoS se adapte a mudanças no ambiente ou nos objetivos sem comprometer sua integridade ou funcionalidade.

A.2.2 Sobre a Questão de Pesquisa 2 (QP2)

Em relação à questão de pesquisa “Como os princípios de governança têm sido usados no contexto de SoS?” foram encontrados 14 (35%) estudos que evidenciam que há uso prático da Governança em SoS e 26 (65%) que não, representados na Figura A.10. A maioria dos artigos que evidenciam o uso da governança apresentam estudos de caso utilizando frameworks em domínios específicos, como áreas de segurança [157] e tráfego [201], por exemplo. Porém estes estudos foram conduzidos em ambientes que não permitem uma avaliação do seu funcionamento em situações reais, e por este motivo não podem ser utilizados como referência para a avaliação desta questão de pesquisa.



Figura A.10: Uso prático da Governança de SoS.

Dentre os 14 selecionados, 11 estudos apresentaram propostas de *frameworks* [14, 34, 42, 83, 102, 138, 144, 145, 152, 166, 182]. Isso é relevante porque esse tipo de estudo tende a representar o uso prático da governança em SoS, uma vez que os *frameworks* representam conjuntos de componentes e relações predefinidos, que podem ser utilizados para construir sistemas, fornecendo a estrutura para o seu desenvolvimento e facilitando a reutilização de componentes e a conformidade com padrões.

Considerando os 14 estudos em que ocorre o uso prático da Governança em SoS (A02, A03, A06, A07, A08, A13, A14, A15, A24, A26, A27, A30, A32 e A33), A02 apresenta um estudo de caso para ilustrar a aplicação do *framework* PROVE em um contexto de governança de propriedade intelectual. O estudo de caso destaca como o

framework pode ser usado para desenhar processos de desenvolvimento que considerem os aspectos da propriedade intelectual, identificando e resolvendo desafios relacionados à governança.

A03 apresenta um estudo que enfatiza a necessidade de uma estrutura de governança para coordenar e gerenciar as atividades de teste em um SoS. Esta estrutura define as responsabilidades e as linhas de comunicação entre os diferentes sistemas e suas equipes de teste, as políticas e diretrizes para a priorização dos testes e a alocação de recursos, a implementação de processos e procedimentos padronizados para o teste, o monitoramento contínuo e a avaliação dos esforços, a gestão de riscos associados e a colaboração e a coordenação entre as equipes de teste dos diferentes SCs. Neste sentido o estudo propõe um *framework* que visa otimizar o esforço de teste, concentrando-se em estratégias que priorizam os testes mais críticos e reduzem a redundância, feito por meio de análise sistemática das dependências e interações entre os SCs.

A06 aplica o *framework* proposto a uma rede de despoluição, que se trata de um SoS que é composto por sistemas individuais, como estações de tratamento de água e sistemas de transporte de resíduos. O *framework* proposto é utilizado para organizar e governar a rede, garantindo que ela funcione de forma eficaz e eficiente. A07 descreve a arquitetura da infraestrutura e discute aspectos importantes, como a seleção de requisitos para monitoramento, a definição de métricas relevantes e a interpretação dos resultados obtidos. Ele também apresenta um estudo de caso que demonstra a aplicação da infraestrutura de monitoramento de requisitos em um sistema de software de grande escala. A08 apresenta um *framework* aplicado ao setor de saúde, especificamente ao cuidado de câncer, cujo SoS é composto por sistemas de diagnóstico, de tratamento e de apoio ao paciente. O *framework* proposto é usado para governar a qualidade do cuidado do câncer, garantindo que ele seja eficaz, eficiente e seguro.

A13 descreve um estudo de caso relacionado ao setor de transporte em Cingapura, país asiático, para ilustrar a aplicação do *framework* de governança. O artigo destaca iniciativas específicas naquele país, como o sistema de pedágio eletrônico, o planejamento integrado do transporte público e a coleta de dados em tempo real para aprimorar a gestão do tráfego. A14 propõe o *framework* AGSOA, aplicado no contexto de um SoS militar, composto por sistemas de diferentes tipos, como sistemas de comando e controle, sistemas de armas e sistemas de logística. O *framework* foi proposto para governar o SoS, garantindo que ele funcionasse de forma eficaz e eficiente. A15 apresentou um estudo de caso de alinhamento dos esforços de análise e engenharia no âmbito da Engenharia de Sistemas e Arquitetura do Sistema Empresarial, e a sincronização da tomada de decisão dentro dos SCs de um SoSE.

A24 propõe um modelo que envolve a identificação de requisitos de governança específicos para os Sistemas Ciberfísicos de Sistemas (CPSoS), a definição de mecanis-

mos de governança para orientar o comportamento autônomo dos sistemas, e a análise do impacto dessas interações na governança global. São discutidos diversos aspectos, como o alinhamento entre governança e autonomia, a transparência nas decisões autônomas, a responsabilidade e prestação de contas dos sistemas e a necessidade de estabelecer políticas e normas para garantir a governança adequada deste tipo de sistema. A26 aplica um modelo proposto a um SoS de defesa, que é composto de muitos sistemas inter-relacionados, como sistemas de armas, sistemas de comando e controle e sistemas de logística. Semelhante ao estudo A14, este também propõe um modelo que é usado para governar o SoS.

A27 fornece uma ferramenta para modeladores simularem as interações entre os SCs do SoS. Além disso, o *framework* destina-se a facilitar a governança de SoS para os profissionais. Os cinco pilares propostos do mecanismo de governança são: (i) integração de propósitos, (ii) regulação de pertencimento, (iii) dispositivo de incentivo, (iv) protocolo de interações e (v) disseminação de princípios e distorção de percepção. Um modelo simulado de cadeia de suprimentos demonstra esses cinco pilares em ação dentro do contexto de SoS. A30 aplica uma metodologia a um SoSE de defesa. Assim como A14 e A26, também propõe uma metodologia para governança. A32 apresenta um estudo de caso que ilustra a aplicação da abordagem proposta em um SoS relacionado a sistemas de transporte. O artigo também discute os desafios associados à verificação de propriedades de missão em SoS e propõe diretrizes para sua aplicação efetiva. A33 apresenta um *framework* usado para governar a qualidade do SoS na área de defesa, assim como A14, A26 e A30, garantindo que ele atinja seus objetivos de qualidade. Em relação aos 26 estudos que não apresentam uso prático da governança, foi possível observar que alguns propõem *frameworks* de governança (A01, A05, A11), porém não existe verificação de sua utilização. Isso demonstra que propostas desse tipo são recorrentes, sendo que a maioria foi colocada em prática.

A.2.3 Sobre a Questão de Pesquisa 3 (QP3)

Para a questão de pesquisa 3 “Como avaliar o uso da governança em SoS, e quais são as métricas usadas na avaliação?” não foram obtidas respostas, uma vez que nenhum dos estudos incluídos apresentaram, de fato, estas evidências. Uma vez que não há esta preocupação, também não há métricas definidas para sua medição. Isso ocorreu porque a maioria dos estudos apresentam propostas, mas não sugerem uma forma de avaliação.

A resposta às três questões de pesquisa serviu então como referência para as discussões, ameaças à validade, e oportunidade e desafios, descritos na Seção 5.

A.3 Ameaças à Validade

As ameaças à validade do deste mapeamento sistemático, identificadas durante a sua elaboração, foram observadas considerando as categorias apresentadas em estudo de Ampatzoglou et al. [4]: (i) validade das conclusões estatísticas: refere-se à precisão das inferências estatísticas feitas a partir dos dados; (ii) validade interna: relacionada à causalidade, ou seja, se a relação observada entre as variáveis é de fato causal; (iii) validade de construção: refere-se à adequação das medidas utilizadas para representar os conceitos teóricos; (iv) validade externa: relacionada à generalização dos resultados para outras populações, contextos ou tempos; (v) validade teórica: similar à validade de construção, mas com foco mais forte na relação entre os dados e a teoria; (vi) validade interpretativa: relacionada à precisão da interpretação dos dados qualitativos; (vii) validade descritiva: refere-se à precisão e objetividade das informações coletadas, especialmente em estudos qualitativos.

A primeira delas diz respeito à string de busca utilizada que, por refinar o escopo da busca, pode ter excluído alguns estudos relevantes que poderiam ser considerados válidos para análise. Com objetivo de minimizar este efeito foi realizada uma busca no mecanismo *Google Scholar*, utilizando a mesma *string*, que retornou uma quantidade significativa de estudos (17400), dos quais os 60 primeiros foram analisados. Dentre estes estudos relevantes também foram encontrados livros e teses de doutorado relacionadas ao tema. Foi possível observar ainda que, a partir deste ponto (os sessenta primeiros resultados), os estudos já não apresentavam mais relação efetiva com o assunto. Também foram pesquisados trabalhos em periódicos ou conferências renomados relacionados à área, como *ACM Computing Surveys*, *ISIS (International Symposium on Advanced Intelligent Systems)*, *SBES (Simpósio Brasileiro da Engenharia de Software)* e *SBSI (Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação)*.

Uma outra ameaça está relacionada ao viés de um único pesquisador na extração dos dados, uma vez que a participação de outros especialistas aconteceu durante a revisão do relatório. Por esse motivo, todo processo de seleção de estudo e extração de dados foi realizado de forma sistemática, auditável e repetível, sendo realizada com supervisão dos pesquisadores envolvidos na elaboração deste mapeamento. Ademais, o material utilizado na extração está público, seguindo os princípios de Ciência Aberta atualmente em voga. Outras dúvidas que surgiram durante a elaboração foram dirimidas por meio de discussões entre os pesquisadores, com o intuito principal de minimizar qualquer interferência de imparcialidade na análise, o que tende a garantir maior confiabilidade ao processo, principalmente de seleção e extração dos dados.

Outra questão a ser considerada é a quantidade de bases pesquisadas, totalizando seis. Outras bases complementares poderiam ser utilizadas, porém por terem sido utiliza-

das três bases com motores de busca mais abrangentes, *ACM Digital Library (The ACM Guide to Computing Literature)*, *Scopus* e *Engineering Village*, e duas com motores mais restritivos, *IEEE Xplore* e *Web Of Science*, além do próprio *Google Scholar*, que retornou grande volume de resultados, parte-se do pressuposto que utilização destas bases, que podem ser consideradas diferentes, porém complementares, foi suficiente para reduzir o risco da não inclusão de estudos relevantes. Apesar disso, podem ser realizadas buscas complementares em outras bases diferentes das listadas acima.

Finalmente, a quantidade relativamente pequena de estudos retornados, com quarenta estudos considerados relevantes a partir do protocolo, poderia colocar em questionamento a força da evidência estatística dos dados colhidos. Entretanto, foi possível observar que estudos selecionados representam o estado da arte em SoSG, que representam, de fato, a totalidade de estudos primários disponíveis na área. Ademais, outros estudos similares apresentam o mesmo espaço amostral e foram publicados em veículos renomados, mostrando que se trata de um número aceitável para um mapeamento.

A.4 Considerações Finais

Dentre os 40 estudos selecionados para análise vários apontaram para utilização de frameworks de SoSG, postostos com o objetivo de garantir que esses sistemas sejam governados de forma eficaz e eficiente, com objetivo de garantir a confiabilidade e a conformidade dos serviços. A maioria desses frameworks são baseados na definição de conjuntos de critérios que são considerados relevantes para a SoSG, como segurança, conformidade, agilidade, gestão de riscos, colaboração entre os provedores de serviços e a participação de autoridades regulatórias. Além disso, foi possível observar que SoS a maioria dos estudos indicam que o SoS são sistemas complexos que podem ser difíceis de governar, e que a utilização de frameworks para estabelecer a SoSG podem ajudar nesse aspecto.

Vários frameworks foram propostos nos estudos, com vários formatos e visões, como baseadas em competências, em modelos de três camadas, em abordagem sistêmica considerando princípios de visão holística, adaptativa, interdependente, cooperativa e baseada em consenso, a partir de requisitos de segurança ou considerando requisitos específicos relacionados à computação em nuvem, por exemplo. Porém, a maioria dos estudos também conclui que a SoSG é um desafio, pois esses sistemas são complexos e dinâmicos, e que a governança é um componente essencial para o sucesso do SoS, pois permite uma abordagem holística na gestão de sistemas complexos e interconectados, promovendo a coordenação, o alinhamento e a tomada de decisões estratégicas para garantir o sucesso e a sustentabilidade dos SoS. Por meio da aplicação de princípios de governança, os profissionais de SoS podem enfrentar os desafios específicos relacionados

à integração, coordenação e governança de sistemas complexos, contribuindo para a eficiência, a eficácia e a resiliência desses sistemas, que a governança, portanto, pode desempenhar um papel crítico no avanço da Engenharia de SoS e na superação dos desafios enfrentados nesse campo.

Finalmente, as principais contribuições deste estudo foram apresentadas considerando a análise dos dados coletados, e das implicações dos resultados observados. Basicamente, foram identificadas: (i) Lacunas na literatura, indicando áreas em que poucas pesquisas foram realizadas; (ii) Sínteses de resultados de pesquisas, sintetizando os resultados obtidos em estudos anteriores, fornecendo uma visão geral do estado da arte na área; (iii) Identificação de novas teorias ou modelos, visando fornecer evidências para o seu desenvolvimento; (iv) Recomendações para políticas ou práticas, com base nos resultados da pesquisa. Além disso, o resultados deste mapeamento indicam que: (i) SoSG é um conceito já definido na literatura, e ajuda a garantir que os SCs sejam integrados de forma eficaz, e que o SoS como um todo atinja seus objetivos; (ii) Apenas 14 dos 40 (35%) estudos incluídos mostram a aplicação de SoSG na prática, o que mostra uma dificuldade de institucionalização de princípios de governança em cenários de SoS, o que pode ser material de investigação; (iii) Nenhum dos estudos incluídos mostra como avaliar o uso de governança em SoS. Oportunidades de pesquisa foram identificadas para guiar a comunidade de SoS na investigação do assunto nos próximos anos.

**Survey - Formulário de Avaliação dos Sistemas
de Informação do Tribunal de Justiça do Estado
de Goiás**

13/01/2026, 14:38

Avaliação dos Sistemas de Informação do Tribunal

Avaliação dos Sistemas de Informação do Tribunal

Caro respondente,

Sou aluno do último ano do **doutorado** em Ciência da Computação da Universidade Federal de Goiás (UFG). Minha área de pesquisa é Sistemas de Informação e o objetivo desse formulário é fazer um levantamento a respeito da **sua visão sobre algumas características específicas dos Sistemas de Informação utilizados pelo TJGO.**

O **tempo estimado** para responder este formulário é de **1 a 3 a minutos.**

** Indica uma pergunta obrigatória*

13/01/2026, 14:38

Avaliação dos Sistemas de Informação do Tribunal

1. TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) *

Sua participação é totalmente voluntária e de extrema importância para os objetivos da pesquisa.

Procedimentos: Sua participação neste estudo consiste em responder um questionário contendo questões fechadas (múltipla escolha) e uma questão aberta não obrigatória.

Tratamento dos dados: Esta pesquisa prevê o armazenamento dos dados coletados em repositório de dados, em local virtual de acesso público, com o objetivo de possível reutilização, verificação e compartilhamento em trabalhos de colaboração científica com outros grupos de pesquisa.

Sua identidade não será revelada nesses dados, pois os dados só serão armazenados de forma anônima (isto é, os dados não terão identificação), utilizando mecanismos que impeçam a possibilidade de associação, direta ou indireta com você. Cabe ressaltar que quem compartilhar os dados também não terá possibilidade de identificação dos participantes de quem os dados se originaram. Sendo assim, não haverá possibilidade de reversão da anonimização.

Benefícios: Você não terá nenhum gasto ou ônus com a sua participação no estudo e também não receberá qualquer espécie de reembolso ou gratificação pela autorização dos seus dados na pesquisa.

Direito de recusa a participar: Você tem direito de se recusar a participar da pesquisa e de desistir e retirar o seu consentimento em qualquer momento da pesquisa sem que isto traga qualquer penalidade ou represálias de qualquer natureza e sem que haja prejuízo para você.

Baseado no [TCLE da Unicamp](#).

=====

Gostaríamos de agradecer sua participação e colaboração neste processo. Seu apoio é fundamental para o sucesso desta pesquisa.

Os pesquisadores responsáveis pelo estudo poderão fornecer qualquer esclarecimento, assim como tirar dúvidas pelos e-mails:

Me. Edison Andrade Martins Morais (*doutorando*) – eammorais@ufg.br

Prof. Dr. Valdemar Vicente Graciano Neto. (*Orientador*) –

valdemarneto@ufg.br

Prof. Dr. Eliomar Araújo de Lima (*Coorientador*) – eliomar.lima@ufg.br

13/01/2026, 14:38

Avaliação dos Sistemas de Informação do Tribunal

Marcar apenas uma oval.

Eu li os termos e concordo com eles [Pular para a pergunta 2](#)

Perguntas gerais e relacionadas aos Sistemas de Informação do tribunal

2. Qual seu **tempo de experiência** da área de Tecnologia da Informação? *

Marcar apenas uma oval.

- 0 a 5 anos
- 6 a 10 anos
- 11 a 15 anos
- 16 a 20 anos
- Acima de 20 anos

3. Sua função atual está **mais** relacionada a atividades de: *

Marcar apenas uma oval.

- Gestão, Gerenciamento ou Coordenação
- Análise de Sistemas ou Requisitos ou Arquitetura de Software
- Programação (Front ou Back-end) ou Testes
- Infraestrutura ou Banco de Dados
- Outros

4. Qual seu nível **mais alto** de formação? *

Marcar apenas uma oval.

- Não graduado
- Graduado
- Especialista
- Mestre
- Doutor

13/01/2026, 14:38

Avaliação dos Sistemas de Informação do Tribunal

5. Você conhece o conceito de **Sistemas-de-Sistemas (SoS)**? *

Marcar apenas uma oval.

- Não conheço o conceito
- Conheço de forma superficial
- Conheço
- Conheço em profundidade

6. Você considera que a **maioria** os Sistemas de Informação mantidos pelo tribunal possuem **independência operacional** (os sistemas componentes de um sistema maior operam de forma autônoma e independente, mesmo que integrados a outros sistemas)? *

Marcar apenas uma oval.

- Discordo Totalmente
- Discordo
- Indiferente
- Concordo
- Concordo Totalmente

7. Você considera que a **maioria** os Sistemas de Informação mantidos pelo tribunal possuem **independência gerencial** (os sistemas componentes de um sistema maior operam e tomam decisões de forma autônoma, sem interferência direta ou excessiva de outro sistema controlador central)? *

Marcar apenas uma oval.

- Totally disagree
- Disagree
- Indifferent
- Agree
- Totally agree

13/01/2026, 14:38

Avaliação dos Sistemas de Informação do Tribunal

8. Você considera que **existem** Sistemas de Informação mantidos pelo tribunal que estão **distribuídos geograficamente** (os sistemas componentes de um sistema maior estão fisicamente dispersos)? *

Marcar apenas uma oval.

- Discordo Totalmente
- Discordo
- Indiferente
- Concordo
- Concordo Totalmente

9. Você considera que a **maioria** os Sistemas de Informação mantidos pelo tribunal são **desenvolvidos de forma evolucionária** (os sistemas se modificam e se aperfeiçoam ao longo do tempo, em resposta às mudanças no ambiente, novas necessidades ou avanços tecnológicos)? *

Marcar apenas uma oval.

- Discordo Totalmente
- Discordo
- Indiferente
- Concordo
- Concordo Totalmente

13/01/2026, 14:38

Avaliação dos Sistemas de Informação do Tribunal

10. Você considera que a **maioria** os Sistemas de Informação mantidos pelo tribunal possuem **comportamento emergente** (se refere a propriedades e comportamentos dos sistemas como um todo que não podem ser diretamente atribuídos às características individuais dos seus componentes, mas sim às interações complexas entre eles)? *

Marcar apenas uma oval.

- Discordo Totalmente
- Discordo
- Indiferente
- Concordo
- Concordo Totalmente

11. Caso queira acrescentar algum **comentário** sobre o questionário utilize esta caixa de texto (resposta não obrigatória).

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

13/01/2026, 14:38

Avaliação dos Sistemas de Informação do Tribunal

**Survey - Evaluation Form of SoSG Conceptual
Model**

Evaluation of Systems-of-Systems Governance (SoSG) Conceptual Model

I am a Ph.D. candidate in Computer Science at the Federal University of Goiás (UFG), specializing in Information Systems (<https://ppgcc.inf.ufg.br/>). This survey aims to gather expert opinions on a proposed System-of-Systems Governance (SoSG) conceptual model. The estimated time for completion is between 15 and 30 minutes.

* Indica uma pergunta obrigatória

1. INFORMED CONSENT FORM *

Your participation in this study is entirely voluntary and is crucial to achieving the research objectives.

Procedures: Your role in this study involves completing a questionnaire that includes closed-ended (multiple-choice) questions and optional open-ended questions.

Data Treatment: The data collected from this study will be stored in a publicly accessible virtual repository to allow for potential reuse, verification, and sharing with other research groups. Your identity will be kept strictly confidential. All data will be stored anonymously, and mechanisms will be used to prevent any direct or indirect association with you. The anonymization process is irreversible, meaning that those who access or share the data will not be able to identify the participants from whom it originated.

Benefits: There are no costs or direct benefits for participating in this study. You will not receive any reimbursement or compensation for your participation.

Right to Withdraw: You have the right to refuse to participate or to withdraw from the study at any time without penalty or prejudice.

=====

We sincerely thank you for your participation and contribution to this study. Your support is crucial to the success of this research.

Should you have any questions or require clarification, please feel free to contact the researchers at the following emails:

Edison Andrade Martins Morais, M.Sc. (Ph.D. Candidate)
eammorais@ufg.br

Valdemar Vicente Graciano-Neto, Ph.D. (Advisor)
valdemarneto@ufg.br

Eliomar Araújo de Lima, Ph.D. (Co-advisor)
eliomar.lima@ufg.br

Marcar apenas uma oval.

I have read and agree to the terms *Pular para a pergunta 2*

Please, read this content!**CONTEXT AND PROBLEM STATEMENT**

Governance and Systems-of-Systems (SoS) are distinct fields, with different concepts and applications.

- **Governance:** A set of principles represented by values, roles, purposes, rules, and processes that govern the management of organizations.
- **SoS:** A collection of independent and interconnected systems that interact to provide a functionality greater than the sum of their individual parts (constituents).

Problem Statement:

- How can governance principles be applied in SoS environments?

Significance:

- Systems-of-Systems (SoS) face several challenges, such as: meeting the interests of their stakeholders; managing risks; complying with standards and regulations; managing and allocating financial, human, and technological resources; and ensuring their constituents work harmoniously and efficiently.
- Governance can help address these challenges through control mechanisms that aim to evaluate, direct, and monitor the SoS, ensuring that it fulfills its objectives.

Based on the premise that **applying the principles of governance to SoS is relevant**, we conducted a systematic mapping study on **SoS Governance** (hereafter referred to as **SoSG**), in which we identified that:

- Despite several related studies, the concept of SoSG is not strictly defined in the literature.
- SoSG is difficult to implement, as it is not trivial to address the challenges of SoS and propose solutions, especially within this type of complex environment.
- Furthermore, no proposals for SoSG models were found.

Based on this context, **we have developed a SoSG conceptual model, for which we would like to have your appreciation** based on the criteria of (i) coverage, (ii) completeness, (iii) syntactic accuracy, and (iv) semantic accuracy.

To provide you with the necessary information for this evaluation, a high-level overview of the model will be presented and described in this section.

We would first like to gather some information regarding your background and assess your level of expertise in Governance and SoS through the following questions.

2. What is your nationality? *

13/01/2026, 14:36

Evaluation of Systems-of-Systems Governance (SoSG) Conceptual Model

3. What is your age? *

4. What is your gender? *

5. What is your education level? *

Marcar apenas uma oval.

- Currently pursuing a Bachelor's degree
- Bachelor's Degree
- Postgraduate Specialization/Certificate
- Master's student
- Master's Degree (M.A. / M.S.)
- PhD Candidate
- Doctoral Degree (Ph.D.)
- Post-doctoral Research/Fellowship

6. What is your occupation? *

Marcar apenas uma oval.

- Academia
- Industry
- Both

13/01/2026, 14:36

Evaluation of Systems-of-Systems Governance (SoSG) Conceptual Model

7. How many years of experience do you have in academia/industry? *

Marcar apenas uma oval.

- 0–5 years
- 6–10 years
- 11–15 years
- 16–20 years
- 21+ years

8. What is your level of expertise in Governance? *

Marcar apenas uma oval.

- Low
- Moderate
- High
- Expert

9. What is your level of expertise in SoS? *

Marcar apenas uma oval.

- Low
- Moderate
- High
- Expert

DESCRIPTION OF THE PROPOSED CONCEPTUAL MODEL

To facilitate understanding, the model was splitted into five packages, represented at a high level of abstraction in the following figure.

- The elements System-of-Systems (SoS) and Constituent System (CS) are represented as software-intensive systems.
- Governance is represented as a business object.
- Process Model is represented as a business process.
- Operational and Managerial Independence are represented as business rules.

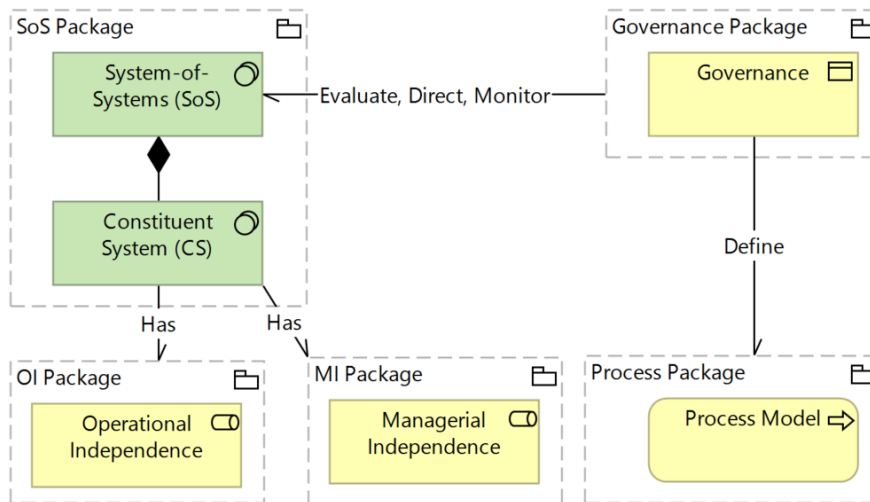
The package-based representation was used to organize the model semantics and facilitate its understanding, as it conveys the concept of different roles and the macro-level communication between its elements.

- The SoS package represents its concept and main characteristics.
- The Governance package represents its concept and main elements.
- The Processes package represents the processes defined by governance for the context of SoS.
- The Operational Independence and Managerial Independence packages represent characteristics of the Constituent Systems.

The **proposed SoSG conceptual model is formed by the combination of the packages**, providing insight into how they communicate.

- The Governance package evaluates, directs, and monitors the SoS.
- The Governance package defines the processes that will be part of the Processes package.
- A Constituent System has Operational Independence and Managerial Independence.
- The SoS is composed of Constituent Systems (CS).

High-Level Representation of the Conceptual Model



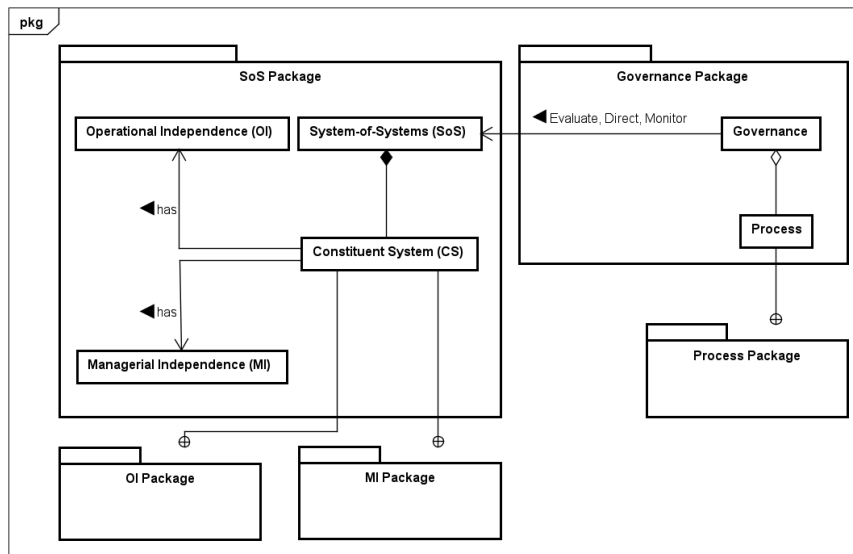
DESCRIPTION OF THE PROPOSED CONCEPTUAL MODEL

Since the objective is to propose a conceptual model, the high-level representation above was redrawn using a class diagram, which has a more appropriate semantics for representing models. The following representation has the same semantics as the previous one, retains the package-based organization, but includes some additional details.

- The model elements are represented as classes.
- The Process class is nested within the Processes package, thus becoming a member of it and establishing the concepts of hierarchy and ownership.
- The same occurs between the Constituent System (CS) class and the Operational Independence and Managerial Independence packages, reinforcing the notion that a Constituent System must possess these characteristics.

This representation is a macro-level view of the proposed SoSG conceptual model, and it serves as a reference for the detailed view of the model.

High-Level UML Representation of the Conceptual Model



ABOUT THE PROPOSED CONCEPTUAL MODEL

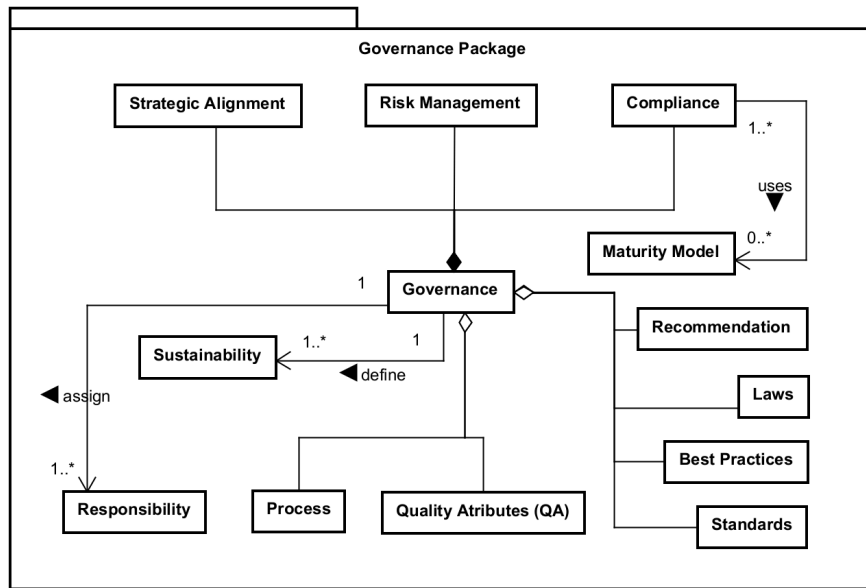
This section will present a detailed view of the packages individually, as well as the complete SoSG conceptual model, followed by their explanations and related questions.

This section is divided into three stages:

1. Questions regarding the detailed Governance Model
2. Questions regarding the detailed SoS Model
3. Questions regarding the detailed SoSG Conceptual Model

After the image related to each model, there is a detailed explanation of it.

GOVERNANCE MODEL



GOVERNANCE MODEL DESCRIPTION

The Governance class is the central element of the model. It is composed of Strategic Alignment, Risk Management, and Compliance, conveying the idea that these are essential items for the area. Governance assigns responsibility to stakeholders and defines sustainability. Furthermore, it is also related to the concepts of processes, quality attributes, good practices, recommendations, laws, and standards. Compliance can use a maturity model.

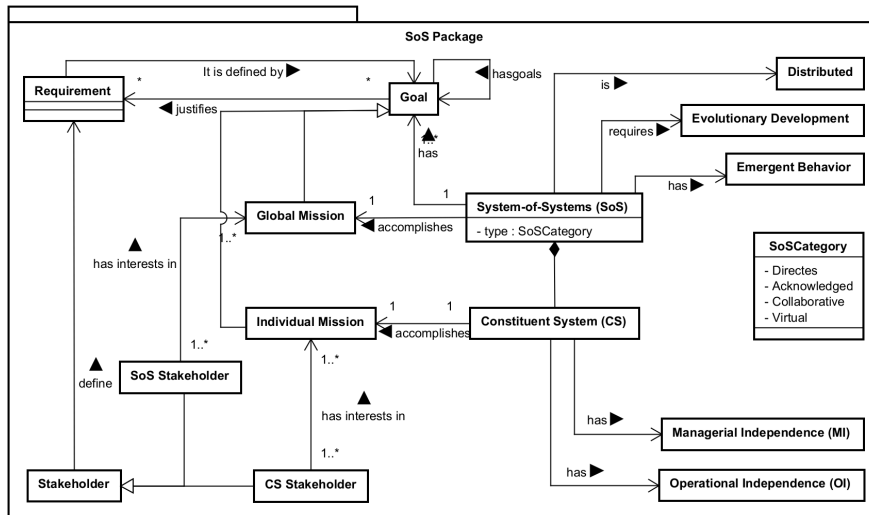
10. The model shown above accurately represents the concepts of Governance. *

Marcar apenas uma oval.

- I totally disagree
- I disagree
- Neutral
- I agree
- I totally agree
- I can't answer

11. Please list your suggestions for improving the Governance Model above.

SoS MODEL



SoS MODEL DESCRIPTION

The Systems-of-Systems (SoS) class represents the central element, which is composed of one or more Constituent Systems (CS). SoS can be of the directed, acknowledged, collaborative, or virtual type. In addition, it is distributed, requires evolutionary development, has emergent behavior, one or more objectives, and fulfills a global mission. The objectives of the SoS are defined by their requirements and justify them. The global mission is part of the objective and meets the interests of SoS stakeholders. Constituent Systems (CS), on the other hand, have an individual mission and meet the interests of their own stakeholders. The requirements are defined by the stakeholders of the SoS and of the constituents.

13/01/2026, 14:36

Evaluation of Systems-of-Systems Governance (SoSG) Conceptual Model

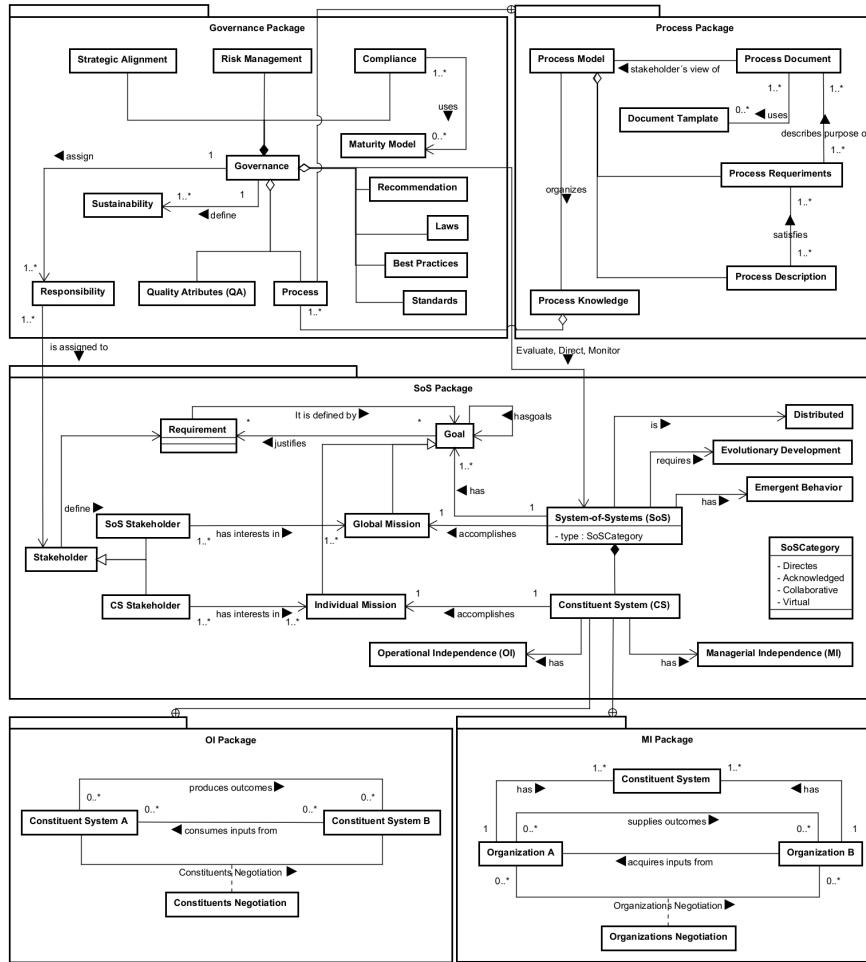
12. The model shown above accurately represents the concepts of SoS. *

Marcar apenas uma oval.

- I totally disagree
- I disagree
- Neutral
- I agree
- I totally agree
- I can't answer

13. Please list your suggestions for improving the SoS Model above.

SoSG CONCEPTUAL MODEL



SoSG CONCEPTUAL MODEL DESCRIPTION

The SoSG conceptual model was developed by combining the initially defined SoS and Governance models, defining the relationship between them, and adding new elements related to the context of both, namely the process, operational independence, and managerial independence models. The goal is for these new elements to convey the idea that SoSG defines the mandatory processes related to the context of SoS, which, in turn, must possess operational and managerial independence as essential characteristics.

The process model (Processes Package) represents the elements of a business process that must be defined according to governance rules. Its main class is the Process Model, which can be visualized as a combination of its knowledge, requirements, and description, which, in turn, must satisfy these requirements. These requirements establish the documentation and models that must be generated from the process, representing the viewpoint of the involved parties.

The operational independence (OI Package) and managerial independence (MI Package) models were created with the primary goal of reinforcing the importance of both concepts as properties of an SoS; therefore, it is important that they are explicitly referenced by SoSG. The operational independence model seeks to represent the form of communication between two constituent systems, where one generates outputs and consumes inputs from the other, clarifying this form of communication, which occurs through negotiation between the parties. The managerial independence model adds the concept of organizations, which have independent constituent systems, but the communication occurs between the organizations, where one provides outcomes and the other receives inputs, also through negotiation.

The Governance class evaluates, directs, and monitors the SoS class through the definition of mandatory items and governance recommendations. The Process class is nested within the Processes package, becoming a member of it, which means its lifecycle is directly tied to the package, defining the idea of hierarchy and ownership in addition to grouping the common elements of the process model. The same occurs between the Constituent System class and the Operational Independence and Managerial Independence packages, reinforcing the semantics that they are properties of that class, which must necessarily possess these characteristics. Another relationship between different packages is represented by the aggregation between the Process and Process Knowledge classes, reinforcing that both are independent, despite one being logically constituted by the other. Finally, it is also explicit in the model that the responsibility defined in governance is directly related to the stakeholders of the SoS through a direct relationship.

13/01/2026, 14:36

Evaluation of Systems-of-Systems Governance (SoSG) Conceptual Model

14. The model shown above contains the essential concepts, attributes, and relationships required to precisely represent a SoSG conceptual model. *

Marcar apenas uma oval.

- I totally disagree
- I disagree
- Neutral
- I agree
- I totally agree
- I can't answer

15. The model shown above can be considered a SoSG Conceptual Model. *

Marcar apenas uma oval.

- I totally disagree
- I disagree
- Neutral
- I agree
- I totally agree
- I can't answer

16. Please list your suggestions for improving the SoSG Conceptual Model above.

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

13/01/2026, 14:36

Evaluation of Systems-of-Systems Governance (SoSG) Conceptual Model

**Survey - Evaluation Form of a Conceptual
Model of SoSG Instantiated in a Brazilian State
Court Context**

Evaluation of a Conceptual Model of Systems-of-Systems Governance (SoSG) Instantiated in a Brazilian State Court Context

I am a Ph.D. candidate in Computer Science at the Federal University of Goiás (UFG), specializing in Information Systems (<https://ppgcc.inf.ufg.br/>). This survey aims to gather expert opinions on a proposed System-of-Systems Governance (SoSG) conceptual model. The estimated time for completion is between 20 and 30 minutes.

* Indica uma pergunta obrigatória

1. INFORMED CONSENT FORM *

Your participation in this study is entirely voluntary and is crucial to achieving the research objectives.

Procedures: Your role in this study involves completing a questionnaire that includes closed-ended (multiple-choice) questions and optional open-ended questions.

Data Treatment: The data collected from this study will be stored in a publicly accessible virtual repository to allow for potential reuse, verification, and sharing with other research groups. Your identity will be kept strictly confidential. All data will be stored anonymously, and mechanisms will be used to prevent any direct or indirect association with you. The anonymization process is irreversible, meaning that those who access or share the data will not be able to identify the participants from whom it originated.

Benefits: There are no costs or direct benefits for participating in this study. You will not receive any reimbursement or compensation for your participation.

Right to Withdraw: You have the right to refuse to participate or to withdraw from the study at any time without penalty or prejudice.

=====

We sincerely thank you for your participation and contribution to this study. Your support is crucial to the success of this research.

Should you have any questions or require clarification, please feel free to contact the researchers at the following emails:

Edison Andrade Martins Morais, M.Sc. (Ph.D. Candidate)
eammorais@ufg.br

Valdemar Vicente Graciano-Neto, Ph.D. (Advisor)
valdemarneto@ufg.br

Eliomar Araújo de Lima, Ph.D. (Co-advisor)
eliomar.lima@ufg.br

Marcar apenas uma oval.

I have read and agree to the terms *Pular para a pergunta 2*

Please, read this content!

CONTEXT AND PROBLEM STATEMENT

Governance and Systems-of-Systems (SoS) are distinct fields, with different concepts and applications.

- **Governance:** A set of principles represented by values, roles, purposes, rules, and processes that govern the management of organizations.
- **SoS:** A collection of independent and interconnected systems that interact to provide a functionality greater than the sum of their individual parts (constituents).

Problem Statement:

- How can governance principles be applied in SoS environments?

Significance:

- Systems-of-Systems (SoS) face several challenges, such as: meeting the interests of their stakeholders; managing risks; complying with standards and regulations; managing and allocating financial, human, and technological resources; and ensuring their constituents work harmoniously and efficiently.
- Governance can help address these challenges through control mechanisms that aim to evaluate, direct, and monitor the SoS, ensuring that it fulfills its objectives.

Based on the premise that **applying the principles of governance to SoS is relevant**, we conducted a systematic mapping study on **SoS Governance** (hereafter referred to as **SoSG**), in which we identified that:

- Despite several related studies, the concept of SoSG is not strictly defined in the literature.
- SoSG is difficult to implement, as it is not trivial to address the challenges of SoS and propose solutions, especially within this type of complex environment.
- Furthermore, no proposals for SoSG models were found.

Based on this context, **we developed a SoSG conceptual model, which was instantiated in a SoS within a Brazilian State Court, and for which we would like your evaluation** based on the following criteria: (i) coverage, (ii) completeness, (iii) syntactic accuracy, and (iv) semantic accuracy.

To provide you with the necessary information for this evaluation, a high-level overview of the model will be presented and described in this section.

We would first like to gather some information regarding your background and assess your level of expertise in Governance and SoS through the following questions.

2. What is your nationality? *

26/02/2026, 16:07

Evaluation of a Conceptual Model of Systems-of-Systems Governance (SoSG) Instantiated in a Brazilian State Court Context

3. What is your age? *

4. What is your gender? *

5. What is your education level? *

Marcar apenas uma oval.

- Currently pursuing a Bachelor's degree
- Bachelor's Degree
- Postgraduate Specialization/Certificate
- Master's student
- Master's Degree (M.A. / M.S.)
- PhD Candidate
- Doctoral Degree (Ph.D.)
- Post-doctoral Research/Fellowship

6. What is your occupation? *

Marcar apenas uma oval.

- Academia
- Industry
- Both

26/02/2026, 16:07

Evaluation of a Conceptual Model of Systems-of-Systems Governance (SoSG) Instantiated in a Brazilian State Court Context

7. How many years of experience do you have in academia/industry? *

Marcar apenas uma oval.

- 0–5 years
- 6–10 years
- 11–15 years
- 16–20 years
- 21+ years

8. What is your level of expertise in Governance? *

Marcar apenas uma oval.

- Low
- Moderate
- High
- Expert

9. What is your level of expertise in SoS? *

Marcar apenas uma oval.

- Low
- Moderate
- High
- Expert

DESCRIPTION OF THE PROPOSED CONCEPTUAL MODEL

To facilitate understanding, the model was splitted into five packages, represented at a high level of abstraction in the following figure.

- The elements System-of-Systems (SoS) and Constituent System (CS) are represented as software-intensive systems.
- Governance is represented as a business object.
- Process Model is represented as a business process.
- Operational and Managerial Independence are represented as business rules.

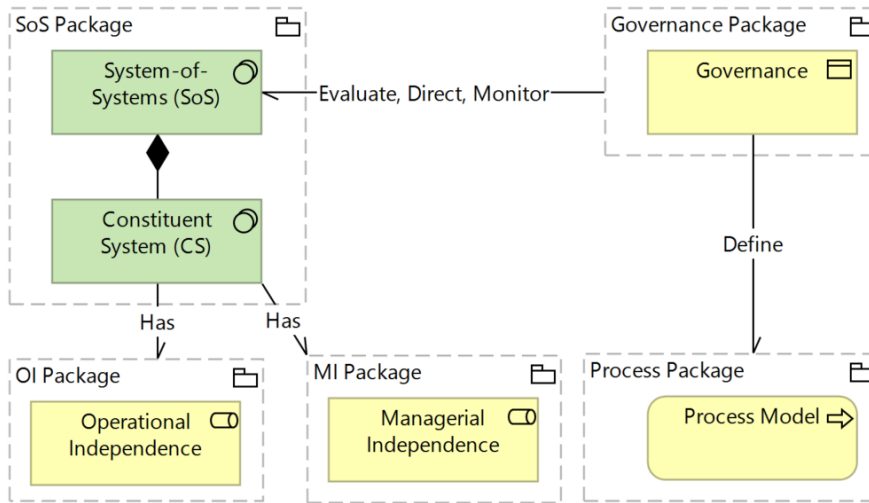
The package-based representation was used to organize the model semantics and facilitate its understanding, as it conveys the concept of different roles and the macro-level communication between its elements.

- The SoS package represents its concept and main characteristics.
- The Governance package represents its concept and main elements.
- The Processes package represents the processes defined by governance for the context of SoS.
- The Operational Independence and Managerial Independence packages represent characteristics of the Constituent Systems.

The **proposed SoSG conceptual model is formed by the combination of the packages**, providing insight into how they communicate.

- The Governance package evaluates, directs, and monitors the SoS.
- The Governance package defines the processes that will be part of the Processes package.
- A Constituent System has Operational Independence and Managerial Independence.
- The SoS is composed of Constituent Systems (CS).

High-Level Representation of the Conceptual Model



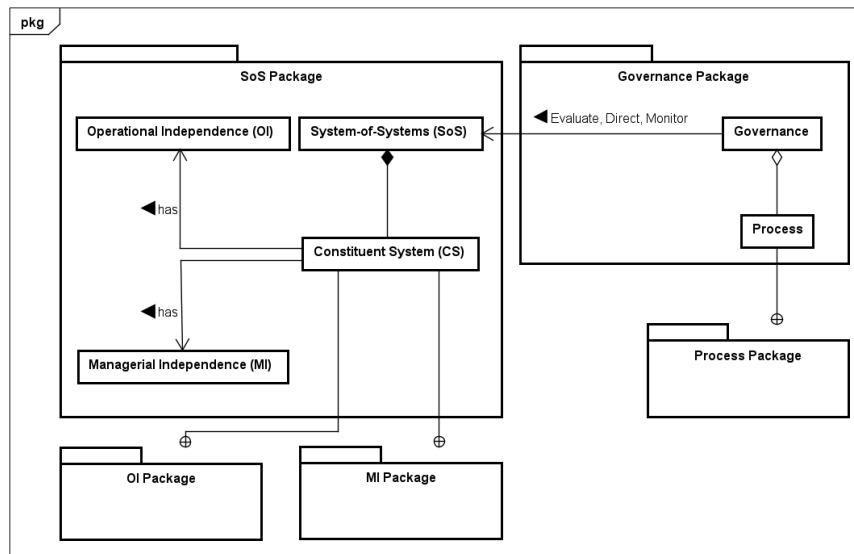
DESCRIPTION OF THE PROPOSED CONCEPTUAL MODEL

Since the objective is to propose a conceptual model, the high-level representation above was redrawn using a class diagram, which has a more appropriate semantics for representing models. The following representation has the same semantics as the previous one, retains the package-based organization, but includes some additional details.

- The model elements are represented as classes.
- The Process class is nested within the Processes package, thus becoming a member of it and establishing the concepts of hierarchy and ownership.
- The same occurs between the Constituent System (CS) class and the Operational Independence and Managerial Independence packages, reinforcing the notion that a Constituent System must possess these characteristics.

This representation is a macro-level view of the proposed SoSG conceptual model, and it serves as a reference for the detailed view of the model.

High-Level UML Representation of the Conceptual Model



ABOUT THE PROPOSED CONCEPTUAL MODEL

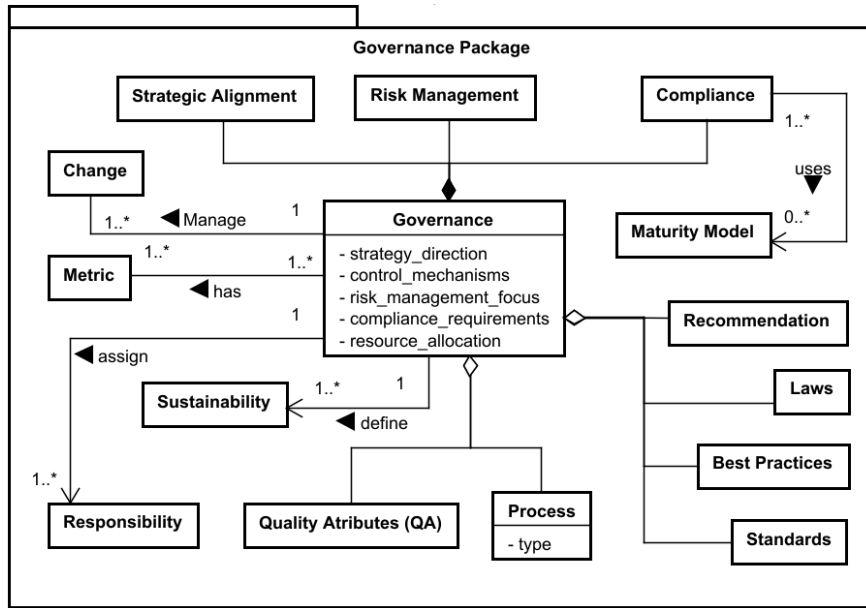
This section will present a detailed view of the packages individually, as well as the complete SoSG conceptual model, followed by their explanations and related questions.

This section is divided into three stages:

1. Questions regarding the detailed Governance Model
2. Questions regarding the detailed SoS Model
3. Questions regarding the detailed SoSG Conceptual Model

After the image related to each model, there is a detailed explanation of it.

GOVERNANCE MODEL



GOVERNANCE MODEL DESCRIPTION

The Governance class is the central element of the model. It is composed of Strategic Alignment, Risk Management, and Compliance, conveying the idea that these are essential items for the area. Governance assigns responsibility to stakeholders and defines sustainability. Furthermore, it is also related to the concepts of processes, quality attributes, good practices, recommendations, laws, and standards. Compliance can use a maturity model.

26/02/2026, 16:07

Evaluation of a Conceptual Model of Systems-of-Systems Governance (SoSG) Instantiated in a Brazilian State Court Context

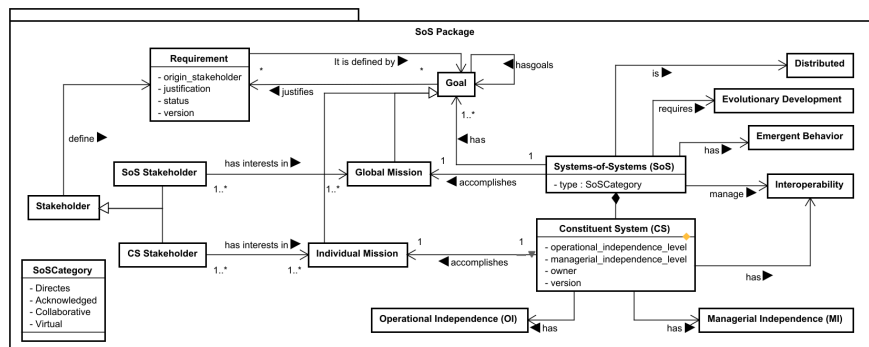
10. The model shown above accurately represents the concepts of Governance. *

Marcar apenas uma oval.

- I totally disagree
- I disagree
- Neutral
- I agree
- I totally agree
- I can't answer

11. Please list your suggestions for improving the Governance Model above.

SoS MODEL



SoS MODEL DESCRIPTION

The Systems-of-Systems (SoS) class represents the central element, which is composed of one or more Constituent Systems (CS). SoS can be of the directed, acknowledged, collaborative, or virtual type. In addition, it is distributed, requires evolutionary development, has emergent behavior, one or more objectives, and fulfills a global mission. The objectives of the SoS are defined by their requirements and justify them. The global mission is part of the objective and meets the interests of SoS stakeholders. Constituent Systems (CS), on the other hand, have an individual mission and meet the interests of their own stakeholders. The requirements are defined by the stakeholders of the SoS and of the constituents.

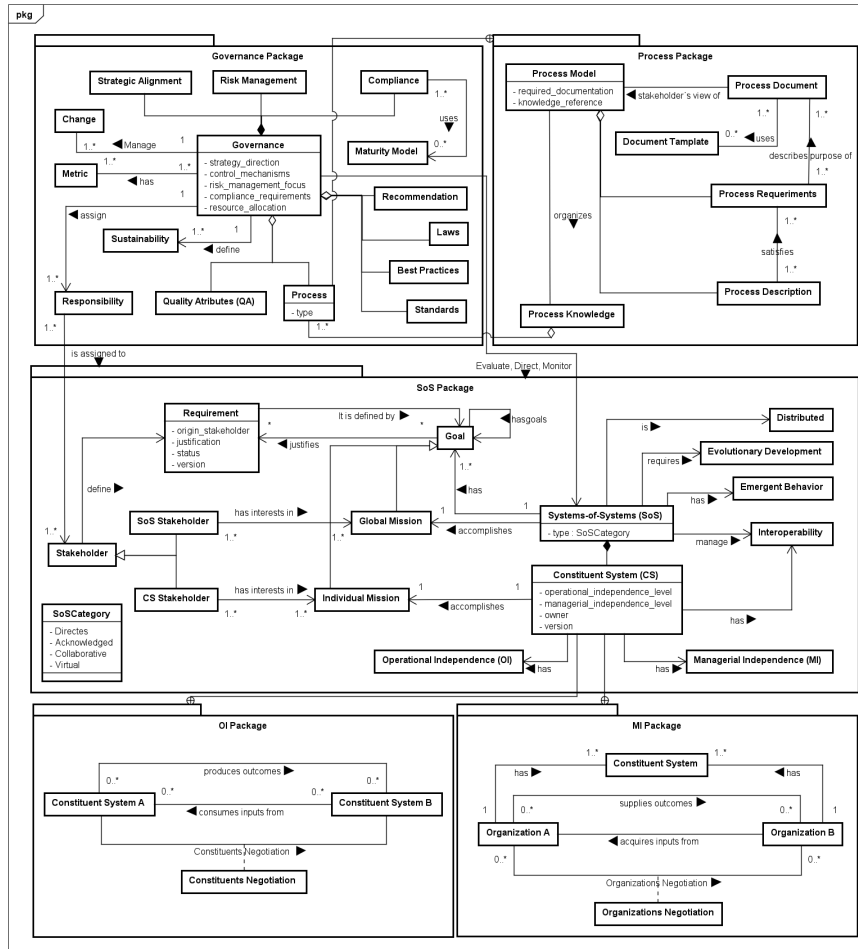
12. The model shown above accurately represents the concepts of SoS. *

Marcar apenas uma oval.

- I totally disagree
- I disagree
- Neutral
- I agree
- I totally agree
- I can't answer

13. Please list your suggestions for improving the SoS Model above.

SoSG CONCEPTUAL MODEL



SoSG CONCEPTUAL MODEL DESCRIPTION

The SoSG conceptual model was developed by combining the initially defined SoS and Governance models, defining the relationship between them, and adding new elements related to the context of both, namely the process, operational independence, and managerial independence models. The goal is for these new elements to convey the idea that SoSG defines the mandatory processes related to the context of SoS, which, in turn, must possess operational and managerial independence as essential characteristics.

The process model (Processes Package) represents the elements of a business process that must be defined according to governance rules. Its main class is the Process Model, which can be visualized as a combination of its knowledge, requirements, and description, which, in turn, must satisfy these requirements. These requirements establish the documentation and models that must be generated from the process, representing the viewpoint of the involved parties.

The operational independence (OI Package) and managerial independence (MI Package) models were created with the primary goal of reinforcing the importance of both concepts as properties of an SoS; therefore, it is important that they are explicitly referenced by SoSG. The operational independence model seeks to represent the form of communication between two constituent systems, where one generates outputs and consumes inputs from the other, clarifying this form of communication, which occurs through negotiation between the parties. The managerial independence model adds the concept of organizations, which have independent constituent systems, but the communication occurs between the organizations, where one provides outcomes and the other receives inputs, also through negotiation.

The Governance class evaluates, directs, and monitors the SoS class through the definition of mandatory items and governance recommendations. The Process class is nested within the Processes package, becoming a member of it, which means its lifecycle is directly tied to the package, defining the idea of hierarchy and ownership in addition to grouping the common elements of the process model. The same occurs between the Constituent System class and the Operational Independence and Managerial Independence packages, reinforcing the semantics that they are properties of that class, which must necessarily possess these characteristics. Another relationship between different packages is represented by the aggregation between the Process and Process Knowledge classes, reinforcing that both are independent, despite one being logically constituted by the other. Finally, it is also explicit in the model that the responsibility defined in governance is directly related to the stakeholders of the SoS through a direct relationship.

26/02/2026, 16:07

Evaluation of a Conceptual Model of Systems-of-Systems Governance (SoSG) Instantiated in a Brazilian State Court Context

14. The model shown above contains the essential concepts, attributes, and relationships required to precisely represent a SoSG conceptual model. *

Marcar apenas uma oval.

- I totally disagree
- I disagree
- Neutral
- I agree
- I totally agree
- I can't answer

15. The model shown above can be considered a SoSG Conceptual Model. *

Marcar apenas uma oval.

- I totally disagree
- I disagree
- Neutral
- I agree
- I totally agree
- I can't answer

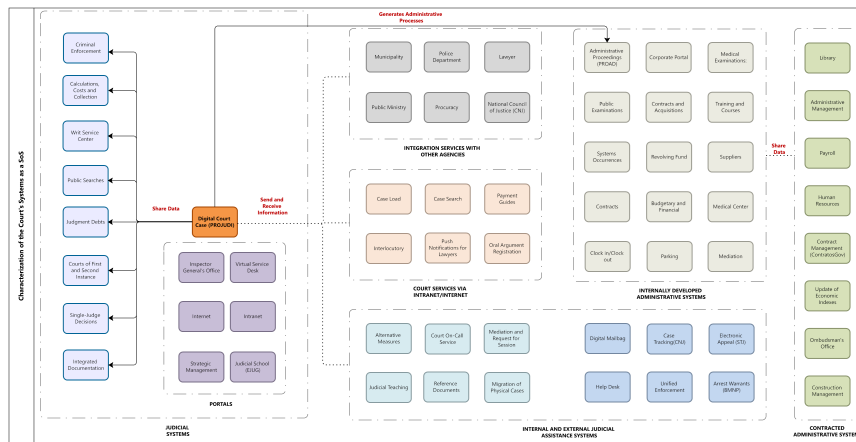
16. Please list your suggestions for improving the SoSG Conceptual Model above.

INSTANTIATED CONCEPTUAL MODEL

To instantiate the model in a real-world scenario, the **Court of Justice of the State of Goiás** (TJGO, from Portuguese Tribunal de Justiça do Estado de Goiás) was selected. It is a medium-sized Brazilian state court overseen by the **National Council of Justice** (CNJ, from Portuguese Conselho Nacional de Justiça), managing an annual budget of 3 billion reais and a workforce of 438 judges and 7,503 employees to process 900,000 new cases annually. Technologically, the **TJGO ecosystem integrates 62 information systems services** for electronic judicial delivery, with the PROJUDI system serving as its primary data hub. **This environment was rigorously characterized as a SoS**, validating properties such as operational and managerial independence, distribution, and emergent behavior.

The following figure presents an overview of these systems grouped by functional areas.

OVERVIEW OF THE TJGO SYSTEM SET CHARACTERIZED AS SoS



ARTIFACT DESCRIPTION

The visual representation utilizes specific symbology: **rectangles** denote court services implemented as Information Systems (IS), **solid arrows** signify direct communication or data flows between systems, and **dashed arrows** link a primary system to a designated group of systems.

iGovTIC-JUD INDEX

The instantiation was based on the iGovTIC-JUD index, **mapping 31 governance items to convert regulatory requirements into traceable technical elements within the proposed model.** Then

Information and Communication Technology Governance, Management, and Infrastructure Index of the Judiciary (**iGovTIC-JUD**) is an annual diagnostic index established by the CNJ to measure the technological maturity of judicial bodies. It acts as a **governance mechanism** that allows the CNJ to evaluate, direct, and monitor courts by setting normative requirements that directly govern the behavior and evolution of their **Information Systems (IS)**.

GOVERNANCE ITEMS REQUIRED BY THE CNJ

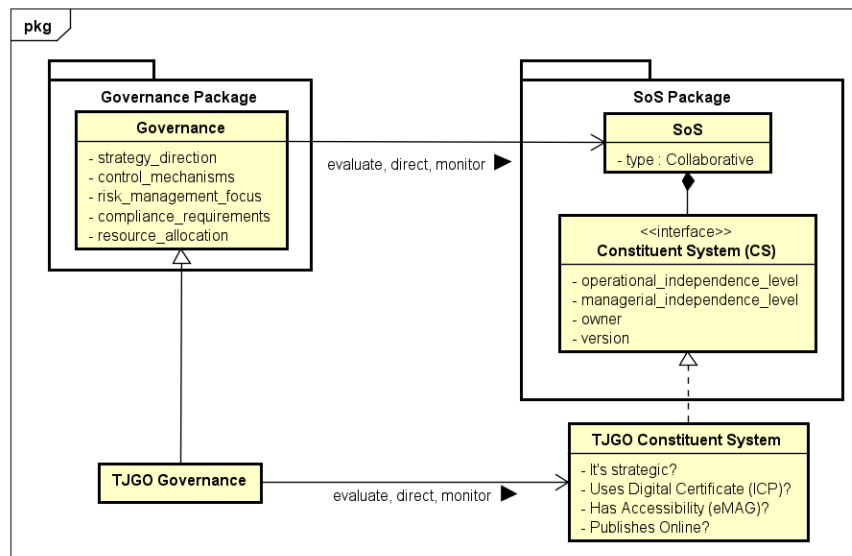
- **IG01:** Adherence to interoperability standards established by the CNJ.
- **IG02:** Formalized processes for the system development and support lifecycle.
- **IG03:** Formal catalog of ICT solutions and business-led demand prioritization.
- **IG04:** Software macroprocess coordination by exclusive permanent staff.
- **IG05:** Formalized management of system scope and requirements.
- **IG06:** Formalized management of system architecture and requirements.
- **IG07:** Formalized and mandatory software development processes.
- **IG08:** Formalized processes for software support and maintenance.
- **IG09:** Formalized management of the software solution lifecycle.
- **IG10:** Classification and identification of strategic information systems.
- **IG11:** Portability and interoperability of judicial information systems.
- **IG12:** Availability of judicial systems for mobile devices.
- **IG13:** Implementation of responsive design in judicial systems.
- **IG14:** Maintenance of updated documentation for judicial systems.
- **IG15:** Support for digital signatures based on ICP-Brasil certificates.
- **IG16:** Compliance with eMAG (Electronic Government Accessibility Model) criteria.
- **IG17:** Use of the National Interoperability Model (MNI) for integrations.
- **IG18:** Online publication of judicial process information on the internet.
- **IG19:** Formal designation and communication of business stakeholders' responsibilities.
- **IG20:** Formal designation and communication of technical managers' responsibilities.
- **IG21:** Measurement of permanent IT staff dedicated to development and maintenance.
- **IG22:** Formalized processes for budget, project, and contract management.
- **IG23:** Delivery and execution of ENTIC-JUD plans (Training, Continuity, and Risks).
- **IG24:** Operation of an active and formalized ICT Governance Committee.
- **IG25:** Operation of an active ICT Management Committee for tactical monitoring.
- **IG26:** Valid ICT Master Plan (PDTIC) with monitored execution rates.
- **IG27:** Compliance with LGPD, table standardization, and Codex independence.
- **IG28:** Annual satisfaction surveys for internal and external users.
- **IG29:** Compliance with ENSEC-PJ (Cybersecurity), MFA implementation, and PPINC-PJ protocols.
- **IG30:** Formalized execution and review of the ICT Risk Management Plan.
- **IG31:** Formalization and periodic review of the Information Security Policy (PSI).

INSTANTIATION

Model instantiation was realized by **mapping 31 governance items (IG01–IG31)** to specific technical elements of the SoSG Conceptual Model. To ensure **traceability, UML realization associations were used** to link theoretical interfaces (representing abstract regulatory requirements) to concrete implementation classes within the TJGO environment. This transformed regulatory mandates into auditable technical elements, proving the artifact's ability to support complex legal scenarios while preserving the independence of constituent systems.

Firstly, to enhance comprehension, a high-level perspective of the instantiated model structure is presented in the following figure.

INSTANTIATED CONCEPTUAL MODEL ORGANIZATION



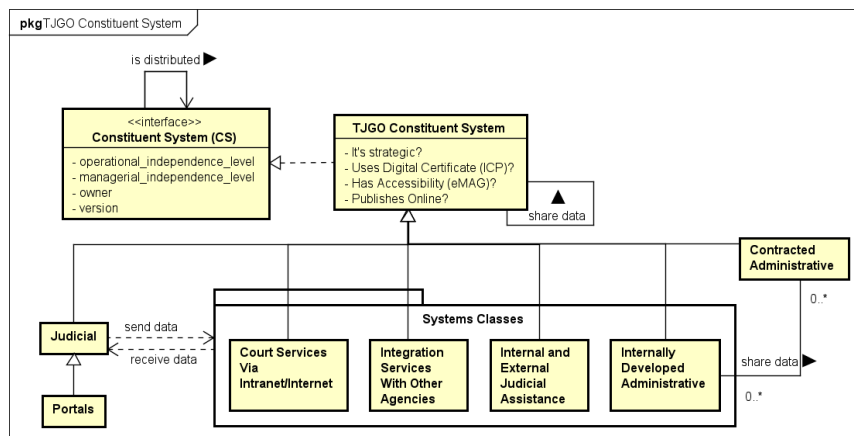
EXPLANATION OF THE INSTANTIATED CONCEPTUAL MODEL ORGANIZATION SEMANTICS

The high-level instantiated model uses UML notation to formalize the transition from conceptual design to operational reality. The central technical component is the **realization association, a dependency linking abstract specifications (provider) to concrete implementations (client), anchoring the governance model to the TJGO environment.** Furthermore, the model employs interfaces as formalized agreements for mandatory obligations and resources. This approach ensures traceability and normative compliance by transforming abstract iGovTIC-JUD requirements into contractual specifications for the court's systems.

Model instantiation at TJGO is divided into **two parts**, starting with a high-level representation of the court's system suite as a SoS. This phase groups systems into packages to illustrate their organization and communication. The central element is the TJGO Constituent System package, which realizes the theoretical Constituent System (CS) class, anchoring the proposed model to the real-world TJGO environment.

A high-level representation of the characterization of the TJGO IS set as a SoS is presented in the following figure.

HIGH-LEVEL REPRESENTATION OF THE TJGO IS SET CHARACTERIZATION AS A SOS



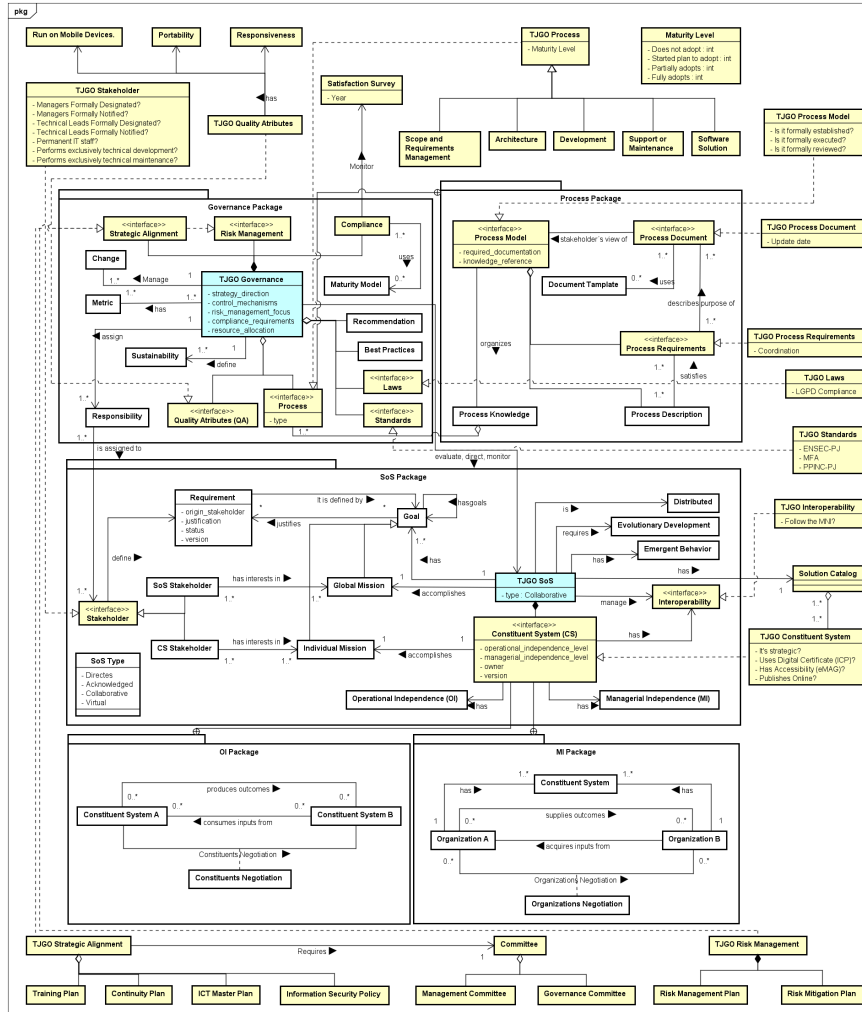
EXPLANATION OF THE HIGH-LEVEL REPRESENTATION OF THE TJGO IS SET CHARACTERIZATION AS A SOS

The semantic objective is to **organize Constituent Systems (CS) into logical packages**, illustrating their communication and property inheritance from governance classes. **Central Elements** include the **Constituent System (CS) Interface**, which defines the formal contract for independence and ownership, and the **TJGO Constituent System Class**, the concrete implementation tied to the conceptual model through **realization relationships** and **distributed operation**. **Categorization** is achieved by grouping information systems into specialized packages that inherit from TJGO Constituent System via generalization. **Relationships** define data flows: **Send/Receive Data** positions judicial systems as central hubs, while **Share Data** (including self-relationships) enables direct collaboration across system blocks, reinforcing **operational and managerial independence**.

The final phase represents the **model's materialization, instantiating the SoSG Conceptual Model within the TJGO environment**. It transitions from a theoretical abstraction to a prescriptive artifact that captures critical system aspects at the SoS level. This was achieved by mapping each iGovTIC-JUD Governance Item (IG) to a specific model element, ensuring full traceability and normative compliance.

This materialization is shown in the figure below.

INSTANTIATED MODEL



DETAILED DESCRIPTION OF THE INSTANTIATED MODEL

The model employs a three-color scheme for functional and semantic segmentation. **Blue** elements represent core structural concepts (Governance and SoS) that act as the convergence core for the TJGO context. **Yellow** elements individually identify the 31 governance items (IG01–IG31) required by the iGovTIC-JUD index, ensuring full traceability. Lastly, **white** classes denote generic theoretical components that ensure the artifact's integrity and flexibility for diverse SoS scenarios.

The classes in **blue** (**TJGO Governance** and **TJGO SoS**) represent the court's context and the model's convergence core. **TJGO Governance** serves as the central direction authority (the "brain"), managing the **evaluate, direct, and monitor (EDM)** cycle to align technology with strategic goals, resource allocation, and risk management. **TJGO SoS** is the governed entity, comprising **62 information services**. It is explicitly classified as a **Collaborative SoS**, where independent systems like PROJUDI cooperate toward the global judicial mission while maintaining technical autonomy.

Yellow classes provide technical rigor and serve as the model's central traceability axis. **Each element individually maps to one of the 31 Governance Items (IG01–IG31) from the iGovTIC-JUD index**, enabling direct auditing of compliance, completeness, and accuracy. This is achieved through realization relationships that link abstract interfaces to concrete implementation classes, ensuring that all CNJ regulatory mandates are fully transposed into the court's operational reality.

General Assessment: IG01 (Interoperability) is realized by TJGO Interoperability; IG02 (Development/Support) by TJGO Process Model; and IG03 (ICT Solutions) by Solution Catalog to manage the portfolio and business prioritization.

Software Lifecycle: IG05–IG09 (Scope, Architecture, Development, Maintenance, and Solution) are mapped as specialized classes of TJGO Process Model, ensuring mandatory and reviewed processes.

System Quality: IG10–IG16 and IG18 (strategic status, portability, mobile access, responsiveness, documentation, ICP-Brasil, and e-MAG) are implemented as attributes or classes of TJGO Constituent System. IG17 (MNI) is linked to TJGO Interoperability.

Human Resources: IG04 (Coordination), IG19 (Designated clients), IG20 (Technical managers), and IG21 (Permanent staff count) are all mapped within the TJGO Stakeholder class.

Decision Structures: IG24 (Strategic decisions) and IG25 (Tactical monitoring) are realized by the Governance Committee and Management Committee classes.

Strategic Alignment: IG23, IG26, IG30, and IG31 map to specific plan classes (PDTIC, Security, Risks); IG22 links budget and contract processes to governance.

Compliance and Satisfaction: IG27 (LGPD/Codex), IG28 (User feedback), and IG29 (Cybersecurity) map to TJGO Laws, Satisfaction Survey, and TJGO Standards respectively.

White classes serve a strategic function by balancing theoretical rigor with application flexibility. They **represent elements from the original generic model that, though not explicitly required by iGovTIC-JUD, are vital SoSG features acting as additional requirements**. This inclusion demonstrates the model's comprehensiveness for other SoS domains. Ultimately,

26/02/2026, 16:07 Evaluation of a Conceptual Model of Systems-of-Systems Governance (SoSG) Instantiated in a Brazilian State Court Context
while yellow elements ensure strict judicial compliance, white classes provide the conceptual infrastructure required for a complete and theoretically sound governance system.

17. The mapping carried out in the model satisfactorily covers all 31 governance items (IG01 to IG31) required by the National Council of Justice (CNJ) iGovTIC-JUD index. *

Marcar apenas uma oval.

- I totally disagree
- I disagree
- Neutral
- I agree
- I totally agree
- I can't answer

18. The UML realization associations and the attributes defined in the classes (especially the elements in yellow) are sufficient to ensure full traceability between the CNJ's normative requirements and the court's technical elements. *

Marcar apenas uma oval.

- I totally disagree
- I disagree
- Neutral
- I agree
- I totally agree
- I can't answer

26/02/2026, 16:07

Evaluation of a Conceptual Model of Systems-of-Systems Governance (SoSG) Instantiated in a Brazilian State Court Context

19. The presented artifact proves to be a valid prescriptive SoS Conceptual Model, *
capable of organizing the complexity of a real-world court from an SoS
perspective while ensuring the characteristics determined by governance.

Marcar apenas uma oval.

- I totally disagree
- I disagree
- Neutral
- I agree
- I totally agree
- I can't answer

20. Please list your suggestions for improving the Instantiated SoSG Conceptual
Model above.

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

26/02/2026, 16:07

Evaluation of a Conceptual Model of Systems-of-Systems Governance (SoSG) Instantiated in a Brazilian State Court Context