



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE INFORMÁTICA  
GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO



**AVALIAÇÃO DE FATORES QUE INFLUENCIAM A QUALIDADE NA  
MODELAGEM BPMN: UM ESTUDO EMPÍRICO SOBRE CHECKLIST  
DE BOAS PRÁTICAS, PADRÕES DE ERROS E IMPACTO DAS  
FERRAMENTAS NO CONTEXTO EDUCACIONAL**

**Trabalho de Graduação**

**Aluno(a):** Jailson Soares da Silva Júnior  
**Orientador(a):** Jéssyka Flavyanne Ferreira Vilela  
**Área:** Gestão de Processo de Negócio

Recife, 12 de Agosto de 2025

**CURSO DE BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

**AVALIAÇÃO DE FATORES QUE INFLUENCIAM A QUALIDADE NA  
MODELAGEM BPMN: UM ESTUDO EMPÍRICO SOBRE CHECKLIST DE  
BOAS PRÁTICAS, PADRÕES DE ERROS E IMPACTO DAS FERRAMENTAS  
NO CONTEXTO EDUCACIONAL**

Trabalho apresentado ao curso de  
Graduação em Sistemas de  
Informação do Centro de Informática  
da Universidade Federal de  
Pernambuco como requisito parcial  
para a obtenção do grau de Bacharel  
em Sistemas de Informação.

Orientador(a): Jéssyka Flavianne Ferreira Vilela

Recife  
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva Júnior, Jailson Soares da.

Avaliação de fatores que influenciam a qualidade na modelagem BPMN: um estudo empírico sobre checklist de boas práticas, padrões de erros e impacto das ferramentas no contexto educacional / Jailson Soares da Silva Júnior. - Recife, 2025.

81, tab.

Orientador(a): Jéssyka Flavyanne Ferreira Vilela

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Informática, Sistemas de Informação - Bacharelado, 2025.

Inclui referências, apêndices.

1. BPMN 2.0. 2. Modelagem de Processos. 3. Ensino de BPM. 4. Boas Práticas. 5. Ferramentas de Modelagem. 6. Erros de Modelagem. I. Vilela, Jéssyka Flavyanne Ferreira. (Orientação). II. Título.

000 CDD (22.ed.)

JAILSON SOARES DA SILVA JÚNIOR

**AVALIAÇÃO DE FATORES QUE INFLUENCIAM A QUALIDADE NA  
MODELAGEM BPMN: UM ESTUDO EMPÍRICO SOBRE CHECKLIST DE  
BOAS PRÁTICAS, PADRÕES DE ERROS E IMPACTO DAS FERRAMENTAS  
NO CONTEXTO EDUCACIONAL**

Trabalho apresentado ao programa de Graduação em Sistemas de Informação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Aprovado em: 12/08/202

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Jéssyka Flavianne Ferreira Vilela - Orientadora  
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Carla Taciana Lima Lourenco Silva - Examinadora Interna  
Universidade Federal de Pernambuco

*“Existe uma teoria que diz que, se um dia alguém descobrir exatamente para que serve o Universo e por que ele está aqui, ele desaparecerá instantaneamente e será substituído por algo ainda mais estranho e inexplicável. Existe uma segunda teoria que diz que isso já aconteceu.”*

Douglas Adams, *O Guia do Mochileiro das Galáxias – Vol. 2*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, dedico estas palavras à minha família, que esteve presente durante este longo caminho e que, independentemente de qualquer dificuldade, me acolheu e incentivou para que eu chegasse a este ponto importante da minha vida. Agradeço à minha orientadora pelo apoio e parceria, que compartilhou seus conhecimentos não somente durante a elaboração deste trabalho, como também durante os dois anos de monitoria — suas influências acadêmicas certamente irão além deste estudo. Ao Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, expresso minha gratidão pela formação acadêmica e profissional proporcionada ao longo desta trajetória. Agradeço a todos os amigos que tive a oportunidade de conhecer e que caminharam junto comigo durante esta jornada, tornando-a mais enriquecedora e significativa. Por fim, reconheço a contribuição de todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho e para minha formação acadêmica.

## RESUMO

A modelagem de processos de negócio com a notação BPMN 2.0 é amplamente utilizada tanto em ambientes organizacionais quanto no meio acadêmico. Contudo, sua complexidade técnica e a ausência de metodologias pedagógicas padronizadas tornam o ensino e a aprendizagem da notação um desafio, sobretudo para estudantes em fase de formação. Este trabalho procura investigar a influência do uso de um checklist de boas práticas na qualidade dos modelos produzidos por estudantes universitários, identificar erros recorrentes de modelagem e analisar a relação entre a ferramenta utilizada e a incidência de erros. Para isso, foram formuladas três perguntas de pesquisa, cujas respostas envolveram a aplicação de métodos quantitativos e qualitativos, com dados coletados entre os semestres de 2022.2 e 2024.2 no curso de Sistemas de Informação da Universidade Federal de Pernambuco. Os resultados demonstraram que, apesar da boa receptividade ao checklist e de sua aplicação como instrumento de avaliação da disciplina, sua disponibilização direta aos alunos não resultou em diferenças estatisticamente significativas nas notas atribuídas aos modelos. Além disso, foi constatada a persistência de erros sintáticos, semânticos e de boas práticas já descritos na literatura, bem como o surgimento de novos erros. Por fim, observou-se que o desempenho dos alunos tende a variar conforme a ferramenta de modelagem utilizada, sendo aquelas com maior robustez técnica e adesão ao checklist mais favoráveis à construção de modelos de melhor qualidade. Os achados contribuem para a reflexão sobre o ensino da notação BPMN, sugerindo aprimoramentos em estratégias pedagógicas e na escolha das ferramentas adotadas em ambientes educacionais.

**Palavras-chave:** BPMN 2.0. Modelagem de Processos. Ensino de BPM. Boas Práticas. Ferramentas de Modelagem. Erros de Modelagem.

## ABSTRACT

Business process modeling with BPMN 2.0 notation is widely used in both organizational and academic settings. However, its technical complexity and the lack of standardized pedagogical methodologies make teaching and learning the notation challenging, especially for undergraduate students. This study aims to investigate the influence of using a best practices checklist on the quality of models produced by university students, identify recurring modeling errors, and analyze the relationship between the tool used and the incidence of errors. To this end, three research questions were formulated, the analyses of which involved quantitative and qualitative methods, applied to data collected between the 2022.2 and 2024.2 semesters in the Information Systems program at the Federal University of Pernambuco. The results showed that, despite the good reception of the checklist and its application as an assessment tool, its direct provision to students did not result in statistically significant differences in the grades assigned to the models. Furthermore, we observed the persistence of syntactic, semantic, and best practice errors already described in the literature, as well as the emergence of new errors. Finally, we observed that student performance tends to vary depending on the modeling tool used, with those with greater technical robustness and adherence to the checklist being more conducive to building higher-quality models. These findings contribute to reflection on the teaching of BPMN notation, suggesting improvements in pedagogical strategies and the selection of tools adopted in educational settings.

**Keywords:** BPMN 2.0. Process Modeling. BPM Teaching. Best Practices. Modeling Tools. Modeling Errors.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Exemplo de tarefa em BPMN.....   | 19 |
| Figura 2 - Exemplo de evento em BPMN.....   | 20 |
| Figura 3 - Exemplo de gateway em BPMN.....  | 20 |
| Figura 4 - Exemplo de fluxo de sequência em BPMN.....   | 20 |
| Figura 5 - Exemplo de fluxo de mensagem em BPMN.....  | 20 |
| Figura 6 - Exemplo de fluxo de associação em BPMN.....  | 21 |
| Figura 7 - Exemplo de piscina e raia em BPMN.....   | 21 |
| Figura 8 - Exemplo de artefatos em BPMN.....  | 22 |
| Figura 9 – Panorama metodológico.....   | 38 |
| Figura 10 - Relação entre critérios do checklist e o catálogo de erros.....                     | 40 |
| Figura 11 – Erros categóricos observados no Exercício 1.....                                    | 47 |
| Figura 12 – Frequência de erros no exercício 1.....   | 48 |
| Figura 13 – Erros categóricos observados no Exercício 2.....                                    | 49 |
| Figura 14 - Frequência de erros em novos critérios adicionados ao checklist no exercício 2..... | 50 |
| Figura 15 – Erros categóricos observados no Exercício 3.....                                    | 51 |
| Figura 16 - Frequência de erros em novos critérios adicionados ao checklist no exercício 3..... | 52 |
| Figura 17 – Erros categóricos observados no Exercício 3.....                                    | 53 |
| Figura 18 - Frequência de erros em novos critérios adicionados ao checklist no exercício 4..... | 54 |
| Figura 19 - Coeficiente de robustez por funcionalidade.....                                     | 59 |
| Figura 20 - Percentual de aderência ao checklist.....   | 62 |
| Figura 21 - Resultados da Média Bayesiana no exercício 1.....                                   | 65 |
| Figura 22 – Resultados da Média Bayesiana no exercício 2.....                                   | 66 |
| Figura 23 – Resultados da Média Bayesiana no exercício 3.....                                   | 66 |
| Figura 24 - Resultados da Média Bayesiana no exercício 4.....                                   | 67 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Relação entre os trabalhos relacionados.....   | 29 |
| Tabela 2 - Descrição dos dados.....   | 31 |
| Tabela 3 - Complexidade dos exercícios.....   | 33 |
| Tabela 4 - Nível de Ensino Associado (NEA).....   | 34 |
| Tabela 5 – Testes realizados.....   | 41 |
| Tabela 6 - Checklist de Boas práticas.....  | 44 |
| Tabela 7 - Comparativo dos resultados por grupo (exercícios 2 e 3).....                               | 45 |
| Tabela 8 - Resultados estatísticos.....   | 47 |
| Tabela 9 - Avaliação do nível de robustez das ferramentas de modelagem<br>BPMN.....                   | 59 |
| Tabela 10 - Avaliação da Aderência das Ferramentas de Modelagem ao<br>Checklist de Boas Práticas..... | 62 |
| Tabela 11 - Resultados gerais da análise Bayesiana.....   | 66 |

## **LISTA DE ABREVIACES**

|       |   |
|-------|---|
| BPMN  | Business Process Model and Notation                         |
| NEA   | Nível de Ensino Associado                                   |
| CFC   | Control-Flow Complexity                                     |
| ANOVA | Análise de Variância  |
| PP1   | Primeira Pergunta de Pesquisa                               |
| PP2   | Segunda Pergunta de Pesquisa                                |
| PP3   | Terceira Pergunta de Pesquisa                               |
| BPM   | Business Process Management                                 |
| OMG   | Object Management Group                                     |
| XOR   | Exclusive OR (porta lógica utilizada na modelagem BPMN)     |
| OR    | Inclusive OR (porta lógica utilizada na modelagem BPMN)     |
| AND   | Conjunção lógica (porta lógica utilizada na modelagem BPMN) |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b>  | <b>13</b> |
| 1.1 Contexto  | 13        |
| 1.2 Motivação e Justificativa   | 13        |
| 1.3 Objetivos   | 16        |
| <b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b>   | <b>18</b> |
| 2.1 Modelagem de Processos de Negócio   | 18        |
| 2.2 Notação BPMN 2.0: fundamentos e evolução  | 19        |
| 2.2.1 Principais elementos BPMN 2.0   | 19        |
| 2.3 Definição de Erro em modelagem BPMN   | 22        |
| 2.4 Avaliação da qualidade de modelos BPMN  | 23        |
| 2.5 Dificuldades no Ensino e Aprendizagem da BPMN   | 23        |
| 2.6 Ferramentas de modelagem e seu impacto na aprendizagem  | 25        |
| 2.7 Trabalhos Relacionados  | 25        |
| <b>3. METODOLOGIA</b>   | <b>30</b> |
| 3.1 Planejamento para resolução da PP1  | 30        |
| 3.1.1 Descrição dos dados e contexto  | 30        |
| 3.1.2 Métricas para definir a complexidade dos processos de negócio   | 31        |
| 3.1.3 Normalização das Notas  | 34        |
| 3.1.4 Métodos Inferenciais aplicados  | 35        |
| 3.2 Planejamento para resolução da PP2  | 35        |
| 3.2.1 Amostra e escopo  | 35        |
| 3.2.2 Processo de identificação de erros  | 36        |
| 3.3 Planejamento para resolução da PP3  | 36        |
| 3.3.1 Categorização de níveis de avaliação  | 36        |
| 3.3.2 Ferramentas de modelagem BPMN analisadas  | 37        |
| 3.3.3 Análise de desempenho das ferramentas por meio da média bayesiana   | 38        |
| 3.3.4 Definindo o Parâmetro de Suavização   | 38        |
| 3.4 Panorama metodológico   | 39        |
| <b>4. RESULTADOS</b>  | <b>41</b> |
| 4.1 O Checklist de Boas Práticas  | 41        |
| 4.2 PP1: a utilização de checklist de boas práticas como recurso didático influencia positivamente a qualidade dos modelos BPMN desenvolvidos pelos estudantes? | 45        |
| 4.2.1 Apresentação dos dados  | 45        |
| 4.2.2 Análise estatística e discussão dos resultados  | 46        |
| 4.2.3 Limitações encontradas na PP1   | 47        |
| 4.3 PP2: quais categorias de erros mais frequentes em modelos BPMN, mesmo após os avanços de recursos didáticos e de ferramentas de modelagem?                  | 48        |
| 4.3.1 Discussão dos resultados  | 55        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.3.2 Limitações encontradas na PP2   | 56        |
| 4.4 PP3: existe relação entre a ferramenta de modelagem BPMN utilizada e a quantidade de erros cometidos? | 57        |
| 4.4.1 Resultados da avaliação do nível de robustez das ferramentas de modelagem BPMN                      | 57        |
| 4.4.2 Resultados da avaliação da adesão das Ferramentas de Modelagem ao Checklist de Boas Práticas        | 61        |
| 4.4.3 Resultados da aplicação da Média Bayesiana  | 64        |
| 4.4.4 Limitações encontradas na PP3   | 69        |
| <b>5. CONCLUSÃO</b>   | <b>70</b> |
| 5.1 Conclusão da PP1  | 70        |
| 5.2 Conclusão da PP2  | 71        |
| 5.3 Conclusão da PP3  | 71        |
| 5.3 Ameaças à validade da análise   | 73        |
| 5.4 Trabalhos Futuros   | 73        |
| <b>6. REFERÊNCIAS</b>   | <b>76</b> |
| <b>APÊNDICE A – Link para repositório do projeto</b>  | <b>80</b> |

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Contexto

A modelagem de processos de negócio constitui uma competência essencial tanto no contexto acadêmico quanto no mercado profissional, sendo amplamente utilizada para representar, analisar e otimizar fluxos de trabalho em diferentes tipos de organizações [1]. Entre as notações existentes, o *Business Process Model and Notation* (BPMN) consolidou-se como um padrão internacional para a especificação gráfica de processos de negócio, destacando-se por sua capacidade de representar, com clareza e precisão, os elementos operacionais e as interações entre os participantes envolvidos [2].

O primeiro objetivo do BPMN é fornecer uma notação que seja facilmente compreensível por todos os usuários de negócio [2]. Esse conceito introduz ao entendimento coletivo padronizado e otimizado dos processos organizacionais, constituindo instrumentos fundamentais para o adequado funcionamento interno de uma corporação [3]. A partir dessa compreensão, emerge a necessidade de representar visualmente o fluxo de atividades, decisões, eventos e interações que compõem os processos empresariais, permitindo, assim, a identificação de gargalos, ineficiências operacionais e oportunidades de melhoria — incluindo, entre outras possibilidades, a automação de tarefas.

No ambiente educacional, contudo, o domínio da notação BPMN ainda representa um desafio significativo para estudantes em formação, que frequentemente enfrentam dificuldades tanto na interpretação dos enunciados quanto na aplicação correta dos elementos da notação [4]. Pesquisas anteriores já demonstraram uma elevada incidência de erros sintáticos, semânticos e de boas práticas nos modelos produzidos por alunos, mesmo após o avanço de materiais de apoio e metodologias de ensino mais estruturadas [5].

## 1.2 Motivação e Justificativa

A disciplina Gestão de Processos de Negócio, integrante da matriz curricular do curso de Sistemas de Informação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, cujo foco principal é a modelagem BPMN, evidencia tal problemática ao adotar uma metodologia de ensino em conjunto com outras duas disciplinas do mesmo curso e centro: Sistemas de Gestão Empresarial e Planejamento e Gestão de Projetos. Em conjunto, essas disciplinas organizam a turma em diferentes times e propõem a resolução ou a melhoria de problemas reais, sejam eles oriundos de clientes externos ou de demandas internas da universidade. Essa abordagem contempla a aplicação da metodologia de Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), visando o

desenvolvimento de competências e conhecimentos práticos nos temas abordados ao longo do semestre. Isso proporciona a exposição e aplicação das habilidades e conhecimentos da disciplina tanto em ambiente educacional quanto no organizacional [16].

Embora essa metodologia proporcione um enriquecimento significativo ao perfil curricular dos estudantes, ela também impõe aos grupos a necessidade de compreender, ao longo de um semestre letivo, os processos de negócio a serem trabalhados. Esses processos devem ser representados por meio da modelagem BPMN, tanto na perspectiva *AS-IS* (situação atual) quanto *TO-BE* (situação futura), com entrega dos respectivos artefatos como parte da solução desenvolvida [16]. Nesse contexto, assegurar a qualidade dos modelos produzidos torna-se um desafio considerável, sobretudo ao se considerar que, para a maioria dos alunos, essa atividade representa o primeiro contato formal com a notação BPMN.

A gráfica de processos utilizando essa notação impõe uma série de desafios adicionais, especialmente para usuários em formação ou sem experiência prévia na área. É necessário não apenas familiaridade com a simbologia e regras da notação, mas também a capacidade de interpretar, abstrair e traduzir corretamente os requisitos de negócio para uma representação visual precisa e coerente. Soma-se a isso a própria complexidade intrínseca da BPMN, que, por ser uma linguagem rica e expressiva, conta com centenas de construtos e exceções, tornando seu aprendizado e memorização uma tarefa desafiadora, mesmo para estudantes de cursos de graduação. Consequentemente, usuários não especializados enfrentam sérias dificuldades tanto na escolha adequada dos elementos quanto na garantia da validade sintática e semântica dos modelos gerados, o que impacta diretamente a clareza, a utilidade e a qualidade dos diagramas de processos. Esses fatores justificam a necessidade de recursos pedagógicos de apoio e ferramentas que auxiliem na construção orientada dos modelos [16].

Considerando esses aspectos, um checklist de boas práticas surge como recurso tanto didático — para auxiliar os estudantes a produzirem os modelos — quanto pedagógico — para auxiliar os professores a corrigir esses modelos e garantir a qualidade. No entanto, quando somados a diferentes variáveis e contextos, sua aplicação ainda introduz lacunas que carecem estudos mais profundos, como, por exemplo, sua relação com a complexidade do processo em que será desenvolvido e a ferramenta utilizada.

Sendo assim, este trabalho pretende responder às seguintes perguntas de pesquisa:

PP1: a utilização de checklist de boas práticas como recurso didático influencia positivamente a qualidade dos modelos BPMN desenvolvidos pelos estudantes?

PP2: quais categorias de erros mais frequentes em modelos BPMN, mesmo após os avanços de recursos didáticos e de ferramentas de modelagem?

PP3: existe relação entre a ferramenta de modelagem BPMN utilizada e a quantidade de erros cometidos?

A relevância da hipótese levantada na PP1 se ancora em [5] que, em sua análise, aponta a elevada incidência de erros sintáticos e semânticos nos modelos elaborados por iniciantes. Este panorama foi posteriormente aprofundado por [8], que propôs um catálogo ampliado e adaptado à versão 2.0 da notação BPMN, incluindo também sugestões qualitativas levantadas com estudantes em ambiente de aprendizagem.

Apesar desses esforços, permanece uma lacuna empírica na literatura quanto aos efeitos práticos do uso de checklist como recurso didático. Muitos modeladores aprendem de forma autônoma e carecem de orientação sistemática quanto à aplicação de boas práticas, o que compromete a qualidade dos modelos [11]. Assim, investigar a hipótese de que o checklist pode impactar positivamente os resultados da modelagem não apenas contribui para o avanço teórico da área, como também oferece subsídios valiosos para o aprimoramento de práticas pedagógicas no ensino de BPMN.

Além disso, a hipótese se torna ainda mais pertinente diante dos resultados do experimento controlado [10], que, embora não tenha encontrado evidências estatisticamente significativas, destacou a percepção positiva dos participantes em relação à utilidade das boas práticas e apontou limitações metodológicas que justificam novos estudos. Diante desse contexto, esta análise busca aprofundar a análise da relação entre o uso de checklist e a qualidade dos modelos produzidos, acatando as limitações dos estudos anteriores, isto é, a partir de um conjunto ampliado de dados coletados em contexto educacional real.

Quanto à PP2, sua motivação para investigação surge da percepção de que, apesar das melhorias nos recursos didáticos — como o uso de Checklist de avaliação, materiais estruturados e metodologias ativas de ensino — e do avanço das ferramentas digitais de modelagem, erros conceituais e estruturais ainda são recorrentes na produção de modelos BPMN por estudantes em formação, mesmo com um certo nível de experiência [8]. Essa constatação levanta questionamentos sobre a efetividade das estratégias atuais de ensino-aprendizagem da notação [4].

Esta investigação visa fornecer, portanto, dados empíricos para aprimorar métodos de ensino e ferramentas de modelagem, além de avaliar a necessidade de atualizar o checklist atual com base em uma amostra mais ampla e recente compatível com BPMN 2.0. A relevância justifica-se pela revisão sistemática de práticas equivocadas, melhoria de ferramentas de modelagem e contribuição direta do mapeamento realizado.

A terceira e última pergunta de pesquisa (PP3), por fim, surge da observação prática de que estudantes, ao terem liberdade para escolher suas ferramentas de modelagem BPMN, apresentam variações notáveis na qualidade dos modelos produzidos, mesmo quando submetidos aos mesmos exercícios e critérios avaliativos. Esta constatação levanta questionamentos sobre o papel que as características técnicas e funcionais das ferramentas exercem no processo de aprendizagem e na incidência de erro [18].

Diferentes softwares de modelagem oferecem níveis distintos de suporte à notação BPMN 2.0, desde ferramentas generalistas de diagramação até plataformas especializadas com validação automática e recursos pedagógicos integrados. Considerando que a qualidade de um modelo BPMN depende não apenas da competência do modelador, mas também das funcionalidades disponíveis na ferramenta utilizada [6], torna-se relevante investigar se e como essas diferenças tecnológicas impactam o desempenho acadêmico dos estudantes.

A relevância desta investigação se justifica pela contribuição para recomendações sobre funcionalidades essenciais que ferramentas de modelagem deveriam incorporar para melhor apoiar o processo de ensino-aprendizagem da notação BPMN, especialmente no que se refere à aplicação de checklist de boas práticas e prevenção de erros comuns identificados nas análises anteriores.

### **1.3 Objetivos**

O objetivo geral deste trabalho é analisar a influência do uso de um checklist de boas práticas e das ferramentas de modelagem na qualidade dos modelos BPMN elaborados por estudantes do curso de graduação.

Como objetivos específicos, busca-se: (i) verificar se a utilização de checklist de boas práticas influencia positivamente a qualidade dos modelos BPMN produzidos por estudantes; (ii) identificar as categorias de erros mais frequentes; e (iii) avaliar o desempenho das principais ferramentas de modelagem utilizadas pelos estudantes, sua robustez técnica e aderência ao checklist de boas práticas.

Para alcançar tais objetivos, foi conduzido um estudo quantitativo baseado na avaliação sistemática de modelos BPMN submetidos por esses estudantes. A análise combinou critérios pedagógicos e técnicos, considerando variáveis como nota atribuída ao modelo, número de inconsistências por critério, ferramenta utilizada e complexidade dos exercícios propostos. As evidências empíricas levantadas foram então utilizadas para responder a três perguntas de pesquisa que guiaram a estrutura metodológica e analítica do trabalho.

Ao final, espera-se que os resultados obtidos contribuam para o aprimoramento das estratégias de ensino da notação BPMN, a atualização contínua de checklist de boas práticas e a reflexão crítica sobre o papel das ferramentas de modelagem na formação de estudantes capazes de produzir modelos precisos, compreensíveis e aderentes aos padrões da indústria.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Modelagem de Processos de Negócio

A modelagem de processos de negócio é uma atividade essencial no âmbito do gerenciamento organizacional, sendo amplamente reconhecida por sua capacidade de representar, documentar e analisar os processos existentes ou propostos em uma organização [2]. Conforme estabelecido no Guia para o Gerenciamento de Processos de Negócio – Corpo Comum de Conhecimento (BPM CBOK) [2], essa prática visa criar representações que ofereçam uma perspectiva ponta a ponta dos fluxos operacionais ou enfoques específicos em subprocessos, atividades de suporte ou de gestão. O principal objetivo consiste em desenvolver uma visão precisa e completa do funcionamento dos processos, promovendo sua compreensão, formalização e comunicação entre os diversos atores envolvidos.

Os modelos de processos são representações simplificadas de realidades complexas, podendo assumir formas matemáticas, gráficas, físicas ou narrativas. No contexto organizacional, esses modelos são aplicados a diferentes finalidades, como organização de fluxos, descoberta de oportunidades de melhoria, previsão de resultados, medição de desempenho, explicação de estruturas, verificação de conformidade e controle de processos. Por meio deles, é possível estruturar o conhecimento sobre os processos, assegurando maior clareza na gestão e facilitando a padronização e a melhoria contínua [6].

Entre os elementos que compõem um modelo de processo, destacam-se os ícones representativos de atividades, eventos, decisões e condições, bem como os relacionamentos entre esses elementos e com o ambiente externo. Tais modelos podem ser classificados em diagramas, mapas e modelos propriamente ditos. Diagramas apresentam os principais elementos de forma simplificada; mapas oferecem maior detalhamento sobre os componentes e suas interações; e os modelos envolvem uma representação mais abrangente, integrando recursos humanos, tecnológicos e financeiros, muitas vezes com suporte a simulação e relatórios automatizados [6].

A notação BPMN é composta por um conjunto extensivo de símbolos e regras que permitem representar com precisão os elementos de um processo. Seus principais recursos incluem a utilização de raias para delimitar responsabilidades, eventos que marcam o início e o fim dos fluxos, tarefas, *gateways*, e fluxos de mensagens [17]. Entre as vantagens da notação, destaca-se a ampla aceitação no mercado, a capacidade de representar processos complexos e o suporte à automação em ferramentas *Business Process Management Systems* (BPMS). No entanto, sua complexidade

simbólica exige treinamento e experiência para uso adequado, o que pode dificultar sua aplicação por usuários não especializados [13].

## 2.2 Notação BPMN 2.0: fundamentos e evolução

A *Business Process Model and Notation* (BPMN) 2.0 constitui uma notação padronizada para a modelagem de processos de negócio, reconhecida internacionalmente por sua ampla aplicabilidade em ambientes corporativos e acadêmicos. Desenvolvida pela *Object Management Group* (OMG), a BPMN tem como principal objetivo promover a comunicação clara, precisa e acessível entre analistas de negócio, profissionais técnicos e demais partes interessadas envolvidas na estruturação de processos organizacionais [2].

A consolidação da BPMN 2.0 no mercado se deve, sobretudo, à sua versatilidade e capacidade de integração com ferramentas automatizadas. A notação é amplamente adotada por empresas, instituições de ensino e plataformas de modelagem de processos, tendo se tornado uma base sólida para iniciativas de documentação, análise e reengenharia de processos organizacionais. Além disso, contribui de forma significativa para a redução de erros na modelagem, em virtude de sua sintaxe rígida e semântica formalmente definida [2].

### 2.2.1 Principais elementos BPMN 2.0

Atividades (ou tarefas): representam ações executadas no processo. Podem ser tarefas simples ou subprocessos (que encapsulam outros processos).



Figura 1 - Exemplo de tarefa em BPMN

Fonte: Bizagi

Eventos: representam algo que acontece durante o processo e que afeta seu fluxo. São classificados como eventos de início, intermediários ou de término, podendo indicar temporizadores, mensagens, erros, entre outros.



Figura 2 - Exemplo de evento em BPMN

Fonte: Bizagi

*Gateways*: representam pontos de decisão ou divisão de fluxo. Os tipos mais comuns são o XOR (exclusivo), OR (inclusivo) e AND (paralelo).



Figura 3 - Exemplo de *gateway* em BPMN

Fonte: Bizagi

Fluxo de sequência (*sequence flow*): conecta atividades e eventos numa mesma piscina.



Figura 4 - Exemplo de fluxo de sequência em BPMN

Fonte: Bizagi

Fluxo de mensagem (*message flow*): representa a comunicação entre diferentes piscinas.

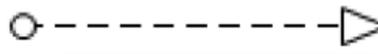


Figura 5 - Exemplo de fluxo de mensagem em BPMN

Fonte: Bizagi

Associação (*association*): vincula artefatos ou dados a atividades, ou eventos.



Figura 6 - Exemplo de fluxo de associação em BPMN

Fonte: Bizagi

Piscina (*pool*): representa um participante no processo (uma organização, sistema ou grupo).

Raia (*lane*): subdivide uma piscina e representa um papel ou departamento específico.



Figura 7 - Exemplo de piscina e raia em BPMN

Fonte: Bizagi

Artefatos são elementos complementares que enriquecem o modelo com informações adicionais, sem interferir diretamente no fluxo. Os mais utilizados são:

- Anotações (*text annotation*): explicações ou comentários.
- Objetos de dados (*data object*): insumos ou resultados de uma atividade.
- Depósito de dados (*data store*): armazenamento persistente de dados.



Figura 8 - Exemplo de artefatos em BPMN

Fonte: Bizagi

### 2.3 Definição de Erro em modelagem BPMN

Considerando os critérios pedagógicos da disciplina, um erro é caracterizado pela infração a algum dos critérios definidos de correção. Em outras palavras, entende-se como erro a execução de um cenário de maneira contrária ao que é esperado ou previamente estabelecido [4]. Mesmo que múltiplas violações estejam associadas a uma mesma infração, ao longo deste trabalho foram contabilizadas como um único erro. Cada ocorrência impacta negativamente na pontuação atribuída, na qualidade do modelo apresentado e na demonstração de compreensão do aluno em relação ao conteúdo abordado.

Os erros identificados podem ser classificados nas seguintes categorias, conforme a natureza da falha:

- I. **Erros sintáticos:** referem-se à violação das regras formais da notação BPMN, como a utilização incorreta de conectores, símbolos ou elementos que comprometem a estrutura válida do diagrama.
- II. **Erros semânticos:** dizem respeito a equívocos no significado atribuído aos elementos do modelo, mesmo quando sua forma sintática está correta. Envolve interpretações equivocadas sobre a lógica do processo, como o uso indevido de *gateways* ou a má representação de fluxos alternativos. Esta apresenta maior gravidade, pois, em contextos organizacionais, desvios semânticos tendem a ser mais onerosos e difíceis de corrigir nas fases iniciais do desenvolvimento de sistemas, comprometendo a consistência e a eficácia dos processos modelados [7].
- III. **Más práticas de modelagem** (ou violação de boas práticas): incluem erros que não invalidam necessariamente o diagrama, mas reduzem sua clareza, legibilidade ou aderência à lógica de negócio. Exemplo: excesso de caminhos cruzados, nomes ambíguos ou posicionamento desalinhado de elementos.
- IV. **Legibilidade:** referem-se a falhas que comprometem a clareza visual e a organização do diagrama, dificultando sua leitura e interpretação por parte de outros usuários. Essas falhas não estão necessariamente

ligados à violação da sintaxe ou da semântica da notação, mas sim à maneira como os elementos são dispostos graficamente

- V. **Atendimento à proposta:** ocorrem quando o modelo BPMN elaborado pelo estudante não corresponde, parcial ou totalmente, às informações, ações ou elementos descritos no enunciado da atividade. Esses erros refletem uma falha na interpretação do processo de negócio apresentado na linguagem natural, comprometendo a fidelidade entre o modelo e a situação real ou proposta textual, como omissão de tarefas, eventos ou atores citados na proposta, a criação de elementos que não existem no texto.

Tais categorias foram incorporadas às categorias de checklist de boas práticas — apresentado na seção 4.1 deste trabalho — e passaram a servir como também como instrumento de correção para os modelos analisados.

## 2.4 Avaliação da qualidade de modelos BPMN

A revisão sistemática da literatura (SLR) sobre a qualidade da modelagem de processos de negócio, *A systematic literature review of studies on business process modeling quality* [7] revelou que o estado da arte no que se refere à qualidade de modelos BPMN ainda carece de amadurecimento, uma vez que não há, até o momento, uma definição ampla e consensual sobre esse conceito na literatura. A SLR definiu que a maioria dos estudos sobre qualidade de modelos concentra-se em aspectos empíricos e pragmáticos da qualidade, com ênfase especial na compreensibilidade e legibilidade dos modelos, como, por exemplo, evitar cruzamentos no *layout* gráfico, curvas excessivas e utilização de cores para destacar os elementos — critérios presentes no checklist de boas práticas.

Dessa forma, no contexto deste trabalho e da disciplina explorada, a pontuação atribuída aos modelos — isto é, a nota obtida — foi utilizada como métrica representativa da qualidade. Assim, para fins desta pesquisa, considera-se que, quanto maior a pontuação alcançada pelos modelos individuais ou pelo somatório de notas da turma, maior é o nível de qualidade dos modelos desenvolvidos.

## 2.5 Dificuldades no Ensino e Aprendizagem da BPMN

Diversos estudos apontam que estudantes enfrentam dificuldades para compreender e aplicar corretamente a notação BPMN, especialmente durante os primeiros contatos com a técnica. Em um dos primeiros trabalhos nessa área, os autores Rozman, Polančič e Horvat analisaram mais de dois mil modelos produzidos por estudantes e identificaram quinze padrões de erros recorrentes, que comprometem a legibilidade e a semântica dos diagramas [5].

Apesar de os modelos do universo amostral analisados no presente trabalho terem sido oriundos de uma metodologia bem consolidada, com atualizações constantes e integração entre diferentes disciplinas do curso, essa realidade não se estende uniformemente a outras instituições. Em muitos ambientes educacionais, o ensino de BPMN permanece não sistematizado, fundamentando-se essencialmente na experiência pessoal dos docentes e resultando em uma variedade de abordagens de ensino que carecem de padronização e respaldo empírico [14].

Além disso, observa-se que ainda não existem estruturas concretas amplamente aplicadas que orientem de maneira eficaz o processo de ensino e aprendizagem da modelagem de processos. As diretrizes atualmente disponíveis são, em geral, excessivamente abstratas ou voltadas a contextos profissionais, não dialogando diretamente com as necessidades específicas do ambiente educacional. Esse cenário reforça a urgência por abordagens mais sistemáticas, baseadas em evidências pedagógicas e adaptadas à realidade dos estudantes em formação [14].

Outro aspecto relevante refere-se à amplitude de competências exigidas para a aprendizagem efetiva de *Business Process Management* (BPM). O domínio da notação BPMN não deve se limitar a uma perspectiva técnica. Pelo contrário, é necessário integrar habilidades analíticas, de abstração, de comunicação e de interpretação textual, de modo a permitir que os estudantes compreendam processos organizacionais complexos e consigam traduzi-los de forma clara e precisa para uma linguagem formal e padronizada [18].

Adicionalmente, as dimensões emocionais do processo de aprendizagem têm se mostrado um fator crítico e, muitas vezes, negligenciado no ensino de BPMN. Um estudo recente destacou que estudantes de cursos de Computação frequentemente experienciam emoções negativas como frustração, ansiedade e insegurança durante tarefas desafiadoras, como a modelagem de processos, o que pode comprometer significativamente seu desempenho e engajamento [18].

Por outro lado, emoções positivas como satisfação e orgulho também emergem, especialmente quando os alunos superam dificuldades e compreendem conceitos complexos. No entanto, a literatura carece de investigações aprofundadas sobre o papel das emoções nesse processo educacional, bem como da interação entre características individuais — como traços de personalidade e estilos cognitivos — e a dinâmica colaborativa presente em atividades de modelagem. Essa lacuna aponta para a necessidade de pesquisas que explorem mais amplamente os fatores afetivos e sociais envolvidos no ensino e aprendizagem da BPMN, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias pedagógicas mais inclusivas e eficazes [18].

## 2.6 Ferramentas de modelagem e seu impacto na aprendizagem

As ferramentas de modelagem BPMN exercem papel crucial no processo de aprendizagem e construção de modelos. Softwares como Bizagi [21], BPMN.io [22], Draw.io [23], Lucidchart [24], Heflo [24] e Miro [26] oferecem diferentes níveis de suporte à notação, desde a validação automática de diagramas até recursos de colaboração e simulação.

Diante dos desafios recorrentes no ensino de BPMN, pesquisadores têm explorado abordagens complementares que possam ampliar o engajamento e a motivação dos estudantes, como a gamificação [19]. A aplicação de elementos de jogos em contextos educacionais não lúdicos tem se mostrado uma estratégia promissora para aumentar a participação ativa dos alunos, reduzir a evasão e melhorar o desempenho em tarefas cognitivamente exigentes.

No contexto da modelagem de processos, a gamificação pode ser aplicada, por exemplo, na forma de desafios de modelagem, rankings de desempenho, recompensas simbólicas por cumprimento de boas práticas ou ambientes simulados interativos. Ao promover maior envolvimento emocional e senso de progressão, esses recursos complementam as funcionalidades das ferramentas de modelagem e tornam o processo de aprendizagem mais dinâmico e significativo [20].

Vale destacar que ferramentas mais robustas e com melhor usabilidade tendem a reduzir a incidência de equívocos e aumentar a produtividade dos modeladores [6]. Por essa razão, este trabalho propõe a análise da robustez e da aderência ao checklist de cada ferramenta utilizada pelos estudantes, como forma de investigar sua influência nos resultados obtidos.

## 2.7 Trabalhos Relacionados

O estudo conduzido por Rozman, Polančič e Horvat [5], *Analysis of Most Common Process Modelling Mistakes in BPMN Process Models*, representa uma das primeiras iniciativas sistemáticas voltadas à identificação de erros recorrentes em modelos de processos de negócio elaborados com a notação BPMN. A pesquisa analisou mais de dois mil diagramas produzidos por estudantes universitários ao longo de seis anos e resultou na categorização de 15 anti-padrões de modelagem. Esses erros foram classificados em três tipos: sintáticos, semânticos e pragmáticos, e suas ocorrências foram acompanhadas por implicações práticas e propostas de correção.

Entre os principais achados, destaca-se a prevalência de desvios relacionados ao uso inadequado de elementos de conexão, como fluxos de sequência atravessando fronteiras de piscinas e *gateways* utilizados de maneira indevida para envio e recebimento de mensagens. Além disso, o

estudo aponta que a ausência de eventos de início e fim compromete significativamente a compreensibilidade dos modelos, mesmo que sua inserção não seja obrigatória segundo a especificação da notação.

A relevância deste trabalho se dá, primeiramente, no fato de ser uma base comparativa histórica que valida a persistência de certos erros, inclusive observados na amostra mais recente analisada neste estudo. Em segundo lugar, a abordagem dos autores em classificar as falhas como anti-padrões e propor soluções concretas reforça a necessidade de instrumentos didáticos e automatizados que promovam a aprendizagem correta da notação BPMN, objetivo alinhado com as propostas de checklist e verificação adotadas nesta pesquisa. Assim, o trabalho de Rozman et al.[5] serve como um alicerce conceitual para a investigação sobre a eficácia de recursos pedagógicos e ferramentas no aprimoramento da qualidade dos modelos produzidos por estudantes.

No trabalho de graduação intitulado *Um Catálogo de Boas Práticas, Erros Sintáticos e Semânticos em Modelos BPMN* [8] realizado no Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, Franco desenvolveu um catálogo composto por 21 erros BPMN, a partir de uma análise de modelos criados por alunos iniciantes na notação. O trabalho expande os achados de Rozman et al. [5], atualizando a compatibilidade com a versão 2.0 da notação BPMN e validando empiricamente a recorrência de muitos dos desvios previamente descritos.

O catálogo proposto é dividido em três categorias: erros sintáticos, erros semânticos e recomendações de boas práticas. A autora também conduziu uma avaliação qualitativa com modeladores experientes e inexperientes, por meio de questionário, de forma a validar a utilidade pedagógica do catálogo. Os resultados demonstram ampla aceitação e utilidade do material como recurso didático. O material elaborado em 2014 tornou-se, desde então, um referencial prático e teórico no ensino da modelagem de processos da disciplina explorada no presente trabalho.

Contudo, diante das mudanças tecnológicas, da introdução de novas ferramentas de modelagem, da evolução da própria notação BPMN e da ampliação do acesso à modelagem por diferentes perfis de estudantes, revisar esse catálogo tornou-se não apenas oportuno, mas necessário. Dessa forma, estes achados contribuíram diretamente para a motivação da segunda e terceira perguntas de pesquisa do presente trabalho. A identificação de falhas recorrentes mesmo após intervenções pedagógicas, bem como a persistência de determinados padrões de falhas, são aspectos explorados no estudo de Franco. Além disso, o presente trabalho se inspira metodologicamente na abordagem adotada na obra de Franco, tanto na estruturação do catálogo quanto na aplicação de instrumentos de avaliação. A proposta de expor as

categorias de boas práticas com maiores índices de erros — oriundos tanto de revisão bibliográfica quanto de observações empíricas — configura-se como uma continuação e aprofundamento do trabalho de Franco [8].

Completamente, *O Guia Simplificado de Boas Práticas em Modelagem de Processos com BPMN* [9] constitui um material instrucional voltado à padronização da modelagem, com foco na clareza, na legibilidade e na correta utilização da notação BPMN. O documento detalha os principais elementos da notação, seus usos corretos e exemplos de erros frequentes, orientando modeladores quanto à melhor forma de representar visualmente os processos de negócio.

Além disso, o guia propõe diretrizes para evitar modelos confusos, como a redução de cruzamento de linhas, uso de nomenclaturas consistentes e padronização gráfica. A pesquisa adota e expande muitas das recomendações apresentadas no guia. O checklist de boas práticas analisado neste trabalho é influenciado por essas diretrizes, sobretudo no que diz respeito aos critérios de legibilidade, nomeação de elementos e disposição gráfica dos modelos. O estudo contribui, assim, com dados empíricos que validam, refinam e atualizam essas práticas sugeridas no guia, oferecendo evidências sobre quais diretrizes vêm sendo efetivamente seguidas pelos estudantes e quais continuam sendo ignoradas ou mal compreendidas [9].

Por último, O estudo desenvolvido por Raphael Piegas Cigana [10], *Experimento Controlado sobre o Uso de Boas Práticas na Modelagem de Processos com BPMN*, no âmbito do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), teve como objetivo investigar os efeitos da aplicação de boas práticas na modelagem de processos de negócio com uso da notação BPMN.

A pesquisa adotou uma abordagem experimental controlada, estruturada em dois experimentos distintos, que buscaram analisar, sob diferentes perspectivas, a influência das boas práticas sobre a qualidade dos modelos elaborados por estudantes. No primeiro experimento, foi avaliado se a aplicação de boas práticas resultaria em modelos com menos erros e maior qualidade percebida. Os resultados, contudo, não identificaram evidência estatística significativa que sustentasse essa hipótese. Ainda assim, os participantes expressaram alta receptividade ao uso das boas práticas, reconhecendo seu valor como instrumento de apoio à modelagem.

Já o segundo experimento abordou a relação entre complexidade do processo modelado e a aplicação efetiva das boas práticas. Neste caso, os dados indicaram que quanto mais complexo o processo, menor a aderência dos estudantes às boas práticas, o que resultou em um número maior de violações — reforçando a hipótese de que o aumento da carga cognitiva

compromete a aplicação correta dessas diretrizes. A relevância deste trabalho para a presente pesquisa reside em dois aspectos principais: primeiro, ao reforçar a percepção positiva dos estudantes quanto à utilidade das boas práticas, ainda que sua eficácia prática dependa de fatores contextuais; segundo, ao evidenciar que a complexidade do processo modelado interfere diretamente na aplicação das boas práticas, alinhando-se à metodologia adotada neste trabalho, que controla variáveis como CFC (Complexidade do Fluxo de Controle) e NEA (Nível de Ensino Associado) para interpretar os padrões de erro observados [10]. A relação entre as obras estão representadas na tabela 1:

| <b>Critério</b>              | <b>Rozman et al.[5]</b>  | <b>Franco[8]</b>  | <b>Guia Simplificado[9]</b>  | <b>Cigana[10]</b>  | <b>Este trabalho</b>  |
|------------------------------|--|---|--|--|---|
| <b>Método de pesquisa</b>    | Análise empírica de mais de 2.000 modelos BPMN produzidos por estudantes ao longo de 6 anos      | Análise qualitativa e quantitativa de modelos BPMN de alunos iniciantes; validação por questionário com modeladores | Revisão de literatura e sistematização de diretrizes práticas baseadas em experiência profissional | Experimento controlado com dois estudos distintos comparando grupos com e sem boas práticas                                | Análise quantitativa e qualitativa de dados empíricos de 5 semestres; aplicação de testes estatísticos (t-test, ANOVA, média bayesiana)     |
| <b>Objetivos da Pesquisa</b> | Identificar e categorizar os erros mais comuns em modelos BPMN; propor anti-padrões de modelagem | Desenvolver catálogo atualizado para BPMN 2.0; validar utilidade pedagógica do material                             | Padronizar práticas de modelagem; fornecer diretrizes para clareza e legibilidade                  | Investigar efeitos das boas práticas na qualidade dos modelos; analisar relação entre complexidade e aderência às práticas | Analisar influência de checklist de boas práticas; identificar categorias de erros frequentes; avaliar impacto das ferramentas de modelagem |

|                              |   |  |   |  |  |
|------------------------------|---|--|---|--|--|
| <b>Principais Resultados</b> | Identificação de 15 anti-padrões recorrentes; categorização em erros sintáticos, semânticos e pragmáticos                     | Catálogo com 21 erros BPMN compatíveis com versão 2.0; alta aceitação do material como recurso didático        | Sistematização de diretrizes para redução de modelos confusos; padronização gráfica e nomenclaturas | Ausência de evidência estatística significativa do impacto das boas práticas; relação inversa entre complexidade e aderência | Ausência de diferença estatisticamente significativa do checklist nas notas; persistência de erros sintáticos como categoria dominante; superioridade da ferramenta Bizagi           |
| <b>Limitações</b>            | Foco apenas em ambiente acadêmico; ausência de validação em contexto profissional; análise limitada à versão anterior do BPMN | Amostra restrita a alunos iniciantes; validação qualitativa limitada; não aborda ferramentas de modelagem      | Caráter prescritivo sem validação empírica; ausência de testes de eficácia das diretrizes propostas | Amostra limitada a um curso específico; período de observação restrito; controle limitado de variáveis contextuais           | Variabilidade entre turmas; subjetividade na avaliação; limitação temporal dos dados; ausência de controle sobre perfis individuais  |
| <b>Contribuições</b>         | Base conceitual para identificação de erros recorrentes; fundamentação para desenvolvimento de instrumentos didáticos         | Atualização do catálogo para BPMN 2.0; base teórica para ensino da notação; validação empírica de erros comuns | Sistematização de práticas profissionais; diretrizes para melhoria da qualidade visual dos modelos  | Evidência empírica sobre limitações das boas práticas; insights sobre relação complexidade-qualidade                         | Análise integrada de múltiplos fatores (checklist, ferramentas, erros); desenvolvimento de métricas de robustez e aderência; evidências sobre impacto das ferramentas no aprendizado |

Tabela 1 - Relação entre os trabalhos relacionados

### 3. METODOLOGIA

A presente seção descreve, isoladamente, as metodologias adotadas para responder a cada uma das perguntas de pesquisas levantadas. As próximas subseções se preocupam, portanto, em esclarecer os processos necessários para coleta e tratamento dos dados, análises aplicadas e estudos realizados.

#### 3.1 Planejamento para resolução da PP1

##### 3.1.1 Descrição dos dados e contexto

Os dados utilizados nesta pergunta de pesquisa foram coletados ao longo de cinco turmas distintas da disciplina de modelagem de processos, ministrada entre os semestres 2022.2 e 2024.2 no curso de Sistemas de Informação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco (CIn/UFPE). Os participantes são estudantes do quarto período, com conhecimento prévio introdutório sobre a notação BPMN, adquirido nas fases iniciais do curso.

Ao longo de cada semestre, os alunos foram submetidos à realização de quatro exercícios de modelagem, elaborados com complexidade diferentes, nos quais deveriam representar graficamente processos de negócio a partir de descrições textuais. As propostas foram desenvolvidas individualmente, e os modelos entregues foram avaliados com base em critérios objetivos definidos pelo mesmo checklist de boas práticas.

Apesar de ser utilizado como rubrica de correção em todas as turmas analisadas, o acesso dos estudantes ao checklist como recurso didático variou entre os semestres. Nas turmas de 2022.2, 2024.1 e 2024.2, os alunos não tiveram acesso ao checklist durante a elaboração dos exercícios 1, 2 e 3, utilizando-o apenas no exercício 4, como referência pós-produção. Já os alunos das turmas de 2023.1 e 2023.2 contaram com acesso completo ao checklist desde o primeiro contato com o BPMN, podendo utilizá-lo como apoio durante a construção de todos os modelos (Tabela 2).

|                                 | <b>Turma 1</b> | <b>Turma 2</b> | <b>Turma 3</b> | <b>Turma 4</b> | <b>Turma 5</b> |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Ano</b>                      | 2022.2         | 2023.1         | 2023.2         | 2024.1         | 2024.2         |
| <b>Número de estudantes</b>     | 25             | 36             | 36             | 36             | 48             |
| <b>Quantidade de exercícios</b> | 4              | 4              | 3              | 3              | 4              |

|   |              |            |            |              |              |
|---|--------------|------------|------------|--------------|--------------|
| <b>aplicados</b>  |              |            |            |              |              |
| <b>Exercício cujo checklist foi disponibilizado como recurso didático</b> | Apenas no 4º | Todos      | Todos      | Apenas no 3º | Apenas no 4º |
| <b>Duração</b>  | 1 semestre   | 1 semestre | 1 semestre | 1 semestre   | 1 semestre   |
| <b>Mudança de Docente</b>   | Não          | Não        | Não        | Não          | Não          |

Tabela 2 - Descrição dos dados

A análise considerará, para cada exercício, a nota atribuída ao modelo e a quantidade de desvios identificados com base nos critérios do checklist. A variação no número de alunos entre as turmas será levada em consideração nos cálculos estatísticos, de modo a preservar a validade dos resultados obtidos.

### **3.1.2 Métricas para definir a complexidade dos processos de negócio**

A complexidade dos processos de negócio é um fator determinante que impacta a qualidade do processo, dificultando sua compreensão, aumentando a taxa de erros e elevando os custos de gerenciamento e manutenção, o que pode reduzir a eficiência geral [12]. No contexto desta primeira análise, esse fator tornou-se uma das variáveis de controle fundamentais, pois reflete diretamente no nível de complexidade nos exercícios propostos aos estudantes. Considerando-se que os textos das propostas variaram entre os cinco semestres analisados, torna-se evidente que a complexidade estrutural de cada exercício também variou, o que representa um potencial fator de viés na comparação do desempenho entre os grupos com e sem acesso ao checklist.

Adicionalmente, a metodologia de ensino adotada foi estruturada de forma progressiva, incorporando gradualmente os elementos da notação BPMN 2.0 conforme os conteúdos eram abordados em sala de aula. Como resultado, os exercícios foram planejados para apresentar graus crescentes de dificuldade, alinhando-se tanto ao avanço do conteúdo programático quanto aos critérios avaliativos definidos no checklist de boas práticas. Essa estratégia

pedagógica, embora essencial para o desenvolvimento cognitivo dos estudantes, introduz dois pontos de atenção metodológica que devem ser controlados para garantir a validade da análise estatística dos resultados:

1. A complexidade intrínseca do processo de negócio modelado: processos mais complexos tendem a demandar maior esforço cognitivo, acarretar maior tempo de execução e provocar aumento na taxa de erros, o que pode comprometer a avaliação da influência de checklist se esse fator não for controlado;
2. A relação entre o conteúdo ensinado até o momento da aplicação do exercício e os requisitos exigidos pela proposta: a cobrança de conteúdos ainda não integralmente abordados pode gerar um descompasso entre o conhecimento disponível e as exigências do exercício, afetando negativamente o desempenho dos alunos, independentemente do uso ou não de checklist.

Para controlar o primeiro fator, adotamos uma métrica objetiva, consistente e amplamente aceita na literatura até os dias atuais: a *Control-Flow Complexity* (CFC) [13]. Essa métrica define a complexidade de um processo como o grau em que ele é difícil de analisar, entender ou explicar, com base em sua estrutura de controle de fluxo. A CFC considera especificamente os construtos de ramificação do processo: *XOR-split*, *OR-split* e *AND-split* [13]. A formalização da CFC considera o impacto do número de caminhos de saída e o tipo de divisão (*split*), conforme descrito a seguir:

- $CFC_{XOR-split}(a) = fan-out(a)$
- $CFC_{OR-split}(a) = 2^{(fan-out(a)-1)}$
- $CFC_{AND-split}(a) = 1$

A complexidade total do processo é obtida pela soma da complexidade de todos os *splits* presentes:

$$CFC = \sum CFC_{XOR-split}(a) + \sum CFC_{OR-split}(a) + \sum CFC_{AND-split}(a)$$

Um exemplo de aplicação dessa métrica pode ser ilustrado da seguinte forma:

*“[...] o cliente decide se está interessado em contratar o serviço: caso não esteja, o processo é encerrado; caso sim, ele preenche o formulário.”*

Nesse caso, tem-se um *gateway* do tipo *XOR-split* (*exclusive OR*), com *fan-out* igual a 2, indicando a existência de dois caminhos alternativos de saída a partir da decisão tomada. Um valor mais alto de CFC indica maior

complexidade estrutural. Essa metodologia foi aplicada a todos os exercícios propostos durante os semestres analisados, e os resultados atribuídos à variável **CFC** estão apresentados na tabela 3.

| <b>Turma</b> | <b>Ex. 1</b> | <b>Ex. 2</b> | <b>Ex. 3</b> | <b>Ex. 4</b>  |
|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 2022.2       | 14           | 12           | 13           | 18            |
| 2023.1       | 8            | 12           | 13           | 18            |
| 2023.2       | 3            | 9            | 13           | Não executado |
| 2024.1       | 4            | 13           | 5            | Não executado |
| 2024.2       | 9            | 8            | 13           | 12            |

Tabela 3 - Complexidade dos exercícios

Para controlar o segundo fator — o grau de exposição prévia dos estudantes aos conteúdos cobrados — criamos a variável Nível de Ensino Associado (NEA). Essa variável quantifica, de forma padronizada, o quanto o conteúdo necessário para resolução de cada exercício já havia sido abordado no momento de sua aplicação. O NEA adota valores contínuos no intervalo  $[0, 1]$ , conforme os seguintes critérios:

- NEA = 0: nenhum conteúdo necessário foi ensinado;
- NEA = 1: todo o conteúdo necessário foi integralmente abordado;
- $0 < \text{NEA} < 1$ : parte dos conteúdos foi ensinada.

A tabela 4 dispõe de todas as métricas atribuídas.

| <b>Turma</b> | <b>Ex. 1</b> | <b>Ex. 2</b> | <b>Ex. 3</b> | <b>Ex. 4</b>  |
|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 2022.2       | 0,2          | 0,4          | 0,8          | 1,0           |
| 2023.1       | 0,2          | 0,4          | 0,8          | 1,0           |
| 2023.2       | 0,2          | 0,6          | 1,0          | Não executado |
| 2024.1       | 0,2          | 0,6          | 1,0          | Não executado |
| 2024.2       | 0,2          | 0,4          | 0,8          | 1,0           |

#### Tabela 4 - Nível de Ensino Associado (NEA)

Dessa forma, a integração simultânea das variáveis CFC e NEA permite um controle metodológico preciso da análise, assegurando que diferenças de desempenho entre grupos sejam interpretadas com base em condições de equivalência pedagógica e estrutural.

##### **3.1.3 Normalização das Notas**

Ainda no contexto desta primeira análise, a utilização da nota normalizada mostrou-se como outra preocupação essencial para garantir a equidade analítica e a precisão estatística na comparação entre os desempenhos dos estudantes. Essa métrica foi empregada visando controlar as variáveis intervenientes vistas nas seções anteriores, tais como a complexidade estrutural dos exercícios (CFC) e o nível de conteúdo previamente ensinado no momento da aplicação de cada atividade (NEA).

A nota bruta, por si só, não seria um indicativo confiável de desempenho comparável entre diferentes exercícios, uma vez que a dificuldade intrínseca da tarefa e a preparação teórica do aluno variam significativamente ao longo do semestre. Exercícios aplicados em fases iniciais, quando o conteúdo continua sendo introduzido, tendem a gerar resultados inferiores — não necessariamente por deficiência do aluno ou da ferramenta utilizada, mas sim pela desproporção entre exigência e conhecimento prévio.

Um exemplo da preocupação mencionada pode ser observado na Tabela 2, na qual se constata que, em determinados semestres, ocorreu uma discrepância quanto à complexidade dos exercícios. Nos semestres 2022.2 e 2024.2, os Exercícios 1 apresentaram maior complexidade em relação aos Exercícios 2. O nivelamento das notas, nesse contexto, foi adotado como estratégia para não desconsiderar os impactos decorrentes das variações de complexidade entre os exercícios propostos.

Dessa forma, a nota normalizada foi calculada a partir da seguinte fórmula:

$$\text{Nota Normalizada} = \frac{\text{Nota Média Bruta}}{\text{CFC} \times \text{NEA}}$$

Com isso, possibilitou-se corrigir distorções interpretativas, permitindo que a análise dos dados focasse diretamente na influência da variável de interesse — o uso de checklist de boas práticas — de forma justa e isonômica.

Além disso, a nota normalizada pode ser incorporada às análises estatísticas subsequentes abordadas, servindo como variável dependente padronizada em comparações entre diferentes grupos. Essa abordagem visa favorecer a precisão metodológica e a confiabilidade dos achados e, ao mesmo tempo, reduzir o viés decorrente de fatores não controlados.

### **3.1.4 Métodos Inferenciais aplicados**

Embora a média das notas seja uma medida amplamente utilizada para descrever o desempenho de grupos, ela, por si só, não é suficiente para afirmar com segurança a existência de uma relação causal ou estatisticamente significativa entre as variáveis, uma vez que esse método é vulnerável à influência de valores extremos [28]. Em contextos educacionais e experimentais, como no presente estudo, diferentes fatores podem influenciar os resultados — incluindo o tamanho da amostra, a dispersão dos dados, a variabilidade entre os grupos e a complexidade das tarefas. A simples comparação de médias pode sugerir tendências, mas não permite concluir se as diferenças observadas resultam do fator investigado ou de variações aleatórias no conjunto de dados.

Para interpretar os resultados com respaldo estatístico, foram aplicados métodos inferenciais que consideram a distribuição dos dados e permitem testar hipóteses com base em evidências quantitativas [31]. Esses métodos possibilitam determinar, com um nível de significância controlado, se as diferenças observadas entre os grupos são suficientemente relevantes para sustentar a hipótese de que o uso de checklist influencia positivamente a qualidade dos modelos BPMN.

Dessa forma, foram utilizados dois testes estatísticos complementares: o teste t de *Student* para amostras independentes com variâncias não assumidas como iguais e a Análise de Variância (ANOVA). A escolha por essas abordagens está alinhada à natureza da variável dependente (nota final), ao delineamento experimental comparativo e às boas práticas de análise estatística em contextos educacionais. O teste t é especialmente adequado para comparar dois grupos com tamanhos e variâncias distintas [29], enquanto a ANOVA permite identificar variações sistemáticas quando há mais de dois subconjuntos amostrais ao longo de diferentes exercícios ou turmas [30].

## **3.2 Planejamento para resolução da PP2**

### **3.2.1 Amostra e escopo**

Para responder à PP2, foram analisados, ao todo, 18 propostas de modelos de processos, distribuídos em quatro exercícios de modelagem aplicados durante os semestres mencionados. Conforme discutido

anteriormente, as propostas variavam em complexidade e tema, exigindo dos alunos a representação gráfica de processos de negócio a partir de textos descritivos. Cada exercício foi desenvolvido de forma individual, com o auxílio facultativo de ferramentas de modelagem como Bizagi Modeler, BPMN.io, Draw.io, Heflo, Lucidchart e Miro, consoante a preferência do estudante.

Modelos submetidos em formatos incompatíveis ou não identificáveis foram excluídos da análise. Da mesma forma, diagramas desenvolvidos manualmente — papel escaneado — ou com ferramentas com menos de três envios foram desconsiderados, a fim de preservar a consistência estatística dos resultados e a padronização da observação.

### **3.2.2 Processo de identificação de erros**

A identificação dos erros foi conduzida com base em um formulário de avaliação estruturado, elaborado a partir de checklist de boas práticas, dos 21 erros originais catalogados [8] mais os 18 novos critérios adicionados às categorias ao longo dos anos. Esse instrumento permitiu mapear a presença de falhas categóricas nos modelos analisados, mantendo coerência com a estrutura taxonômica original. Cada ocorrência de erro foi registrada manualmente em planilhas eletrônicas, associando o tipo de erro, sua frequência e o exercício correspondente.

## **3.3 Planejamento para resolução da PP3**

### **3.3.1 Categorização de níveis de avaliação**

Nesta terceira análise, foi considerado como variáveis explicativas tanto a robustez técnica das ferramentas quanto o grau de aderência aos critérios de boas práticas estabelecidos em um checklist especializado. O estudo foi estruturado, então, a partir de três eixos principais:

1. Avaliação do nível de robustez das ferramentas de modelagem BPMN, com base em critérios funcionais previamente definidos;
2. Avaliação da adesão das ferramentas ao checklist de boas práticas, considerando a capacidade de cada plataforma em apoiar o modelador na aplicação correta dos critérios estabelecidos;
3. Análise de desempenho das ferramentas com base nas notas dos estudantes.

A definição de um coeficiente de robustez para avaliar cada ferramenta de modelagem BPMN surgiu neste trabalho como um passo fundamental para compreender as capacidades técnicas e funcionais que cada uma oferece aos estudantes. No contexto desta análise, a ferramenta passa a ser não apenas

um editor, mas um sistema que orienta o usuário a criar modelos corretos, completos e compreensíveis através da imposição de regras sintáticas, do suporte a diretrizes de modelagem e da visualização clara das propriedades do processo [6]. Nesse sentido, o coeficiente de robustez visa atuar como um indicador de maturidade funcional das ferramentas analisadas.

Já a definição de um coeficiente de aderência ao checklist visa mensurar o quanto cada ferramenta de modelagem é capaz de apoiar ativamente o usuário na aplicação das boas práticas. Essa métrica complementa o coeficiente de robustez geral, com foco específico na efetividade das ferramentas frente aos critérios de qualidade definidos no checklist adotado neste estudo. Diferente da robustez funcional, que avalia a presença de recursos técnicos e operacionais, a aderência ao checklist analisa se a ferramenta possibilita, favorece ou restringe a aplicação de práticas corretas — como a correta associação de tarefas a raias, uso adequado de conectores, rotulagem de elementos e padronização dos diagramas.

Importa destacar que o objetivo do estudo não é determinar qual ferramenta é superior no mercado, mas sim avaliar os três pontos supracitados dentro do universo amostral coletado. Assim, os resultados refletem unicamente o desempenho observado entre os grupos representados nesta pesquisa.

Utilizou-se a mesma base de dados empregada nas análises das perguntas de pesquisa P1 e P2 deste trabalho, isto é, as notas atribuídas aos diagramas produzidos pelos estudantes ao longo de quatro exercícios distintos. Ademais, as definições de qualidade de modelo, notas e erros também foram reaproveitadas nesta pergunta de pesquisa.

### **3.3.2 Ferramentas de modelagem BPMN analisadas**

Os alunos participantes tiveram liberdade para escolher a ferramenta de modelagem BPMN que julgassem mais adequada ou com a qual se sentissem mais familiarizados, não havendo obrigatoriedade quanto à adoção de um software específico. Como resultado, as ferramentas observadas mais recorrentes foram: Bizagi, BPMN.io, Draw.io, Heflo, Lucidchart e Miro.

Além dessas, também foram identificadas submissões realizadas por meio de outras ferramentas, como papel, Vectr, Modeler Camunda e Masa. No entanto, essas ferramentas apresentaram uma quantidade reduzida de amostras — menor ou igual a três —, o que poderia comprometer a validade estatística da análise. Por esse motivo, foram excluídas da amostra principal. Da mesma forma, modelos cujo software de origem não pôde ser identificado também foram descartados do estudo.

### 3.3.3 Análise de desempenho das ferramentas por meio da média bayesiana

As decorrentes distorções da desigualdade no número de observações por ferramenta nesta terceira análise poderia causar um possível ruído na análise estatística, e, por esse motivo, adotou-se o Estimador Bayesiano Ajustado. Esta média é um estimador ajustado que combina a média observada de um grupo com a média geral da população, ponderando esses valores conforme o tamanho da amostra. Essa técnica é particularmente útil em cenários com distribuição desigual de observações, como no caso deste estudo, em que o número de modelos submetidos varia consideravelmente entre as ferramentas de modelagem BPMN [14].

A fórmula utilizada para o cálculo da média bayesiana é a seguinte:

$$MB = \frac{v \cdot R + m \cdot C}{v + m}$$

Em que:

$v$  representa a quantidade de modelos avaliados com determinada ferramenta (tamanho da amostra local);

$R$  é a média observada das notas dos modelos dessa ferramenta;

$m$  é o parâmetro de suavização, calculado conforme a média de modelos por ferramenta;

$C$  é a média global de todas as ferramentas no exercício analisado.

A lógica da fórmula consiste em atribuir maior peso à média local quando há um número elevado de observações ( $v$  grande) e, inversamente, aproximar o resultado da média global ( $C$ ) quando o número de observações da ferramenta é pequeno. Isso reduz o risco de supervalorização de médias extremas obtidas com amostras reduzidas, garantindo maior estabilidade e comparabilidade entre os resultados.

### 3.3.4 Definindo o Parâmetro de Suavização

O parâmetro de suavização, denotado pela letra  $m$  na fórmula da média bayesiana [14], representa um valor de referência que equilibra o peso da média local (da ferramenta) e da média global (de todas as ferramentas). Em termos práticos, quanto menor for a amostra da ferramenta, maior será a influência da média global na média ajustada — e vice-versa.

Neste estudo, o valor de  $m$  foi definido com base na média do número de modelos submetidos por ferramenta em cada exercício, conforme a fórmula:

$$m = \frac{n_{\text{total}}}{k}$$

Em que:

$n_{\text{total}}$  representa o número total de modelos avaliados no exercício;

$k$  representa o número de ferramentas distintas utilizadas naquele exercício.

Essa escolha metodológica permitiu definir um  $m$  que reflete o tamanho médio das amostras, evitando que ferramentas com poucas submissões tivessem suas médias superestimadas [14].

### 3.4 Panorama metodológico

O quadro a seguir (Figura 9) apresenta um resumo dos processos adotados para atender às perguntas supracitadas. Ademais, os testes realizados para cada uma delas, bem como suas variáveis são apresentados na Tabela 5.

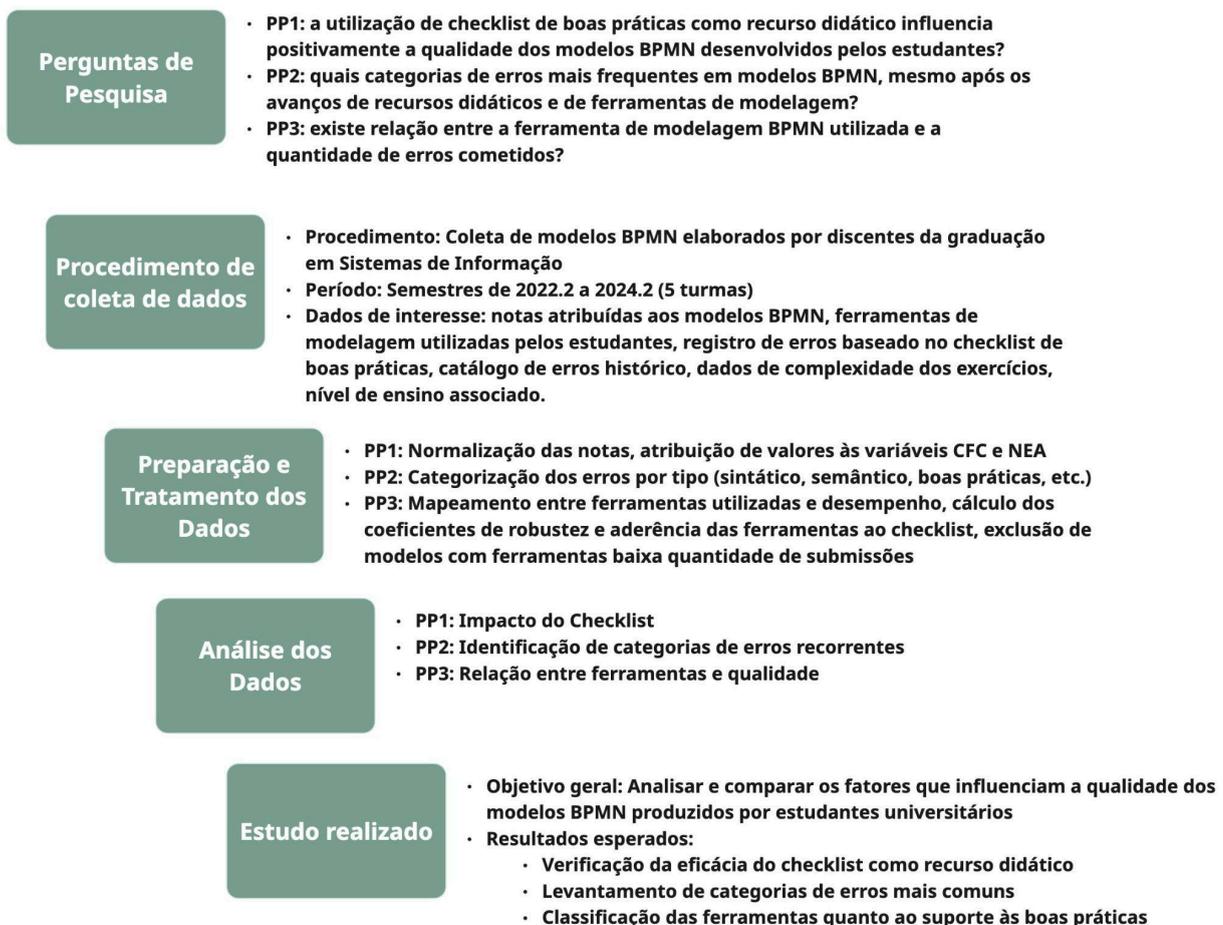


Figura 9 – Panorama metodológico

Fonte: Elaboração própria.

| Pergunta de Pesquisa   | Teste realizado   | Variáveis avaliadas   |
|--|---|---|
| A utilização de checklist de boas práticas como recurso didático influencia positivamente a qualidade dos modelos BPMN desenvolvidos pelos estudantes? | Test T de Student;<br><br>Análise de variância (ANOVA).   | <b>Dependente:</b> nota normalizada dos modelos, média das notas por grupo;<br><b>Independentes:</b> uso de checklist, grupo de estudantes (com/sem checklist);<br><b>De controle:</b> CFC (Control-Flow Complexity), NEA (Nível de Ensino Associado), número de participantes por grupo, semestre/turma  |
| Quais categorias de erros mais frequentes em modelos BPMN, mesmo após os avanços de recursos didáticos e de ferramentas de modelagem?                  | Contagem de erros cometidos por categoria;<br><br>Frequência acumulada;   | <b>Categóricas:</b> tipo de erro, categoria específica do erro (S1-S15, MA1-MA5, etc.);<br><b>Quantitativas:</b> frequência e percentual de cada categoria de erro, total de erros por exercício;<br><b>De contexto:</b> exercício, NEA do exercício; CFC do exercício.   |
| Existe relação entre a ferramenta de modelagem BPMN utilizada e a quantidade de erros cometidos?   | Análise quantitativa e qualitativa de ferramentas de modelagem BPMN;<br><br>Média Aritmética e Bayesiana;<br><br>Coeficiente de robustez;<br><br>Coeficiente de aderência ao checklist. | <b>Dependente:</b> nota dos modelos, média bayesiana ajustada;<br><b>Independente:</b> ferramenta utilizada (Bizagi, BPMN.io, Draw.io, Heflo, Lucidchart, Miro);<br><b>De avaliação das ferramentas:</b> coeficiente de robustez, coeficiente de aderência ao checklist, percentual de aderência;<br><b>De controle:</b> tamanho da amostra por ferramenta, parâmetro de suavização, exercício analisado. |

Tabela 5 – Testes realizados

## 4. RESULTADOS

### 4.1 O Checklist de Boas Práticas

O checklist de boas práticas em modelagem de processos com BPMN, adotado nesta análise, possui uma trajetória evolutiva fundamentada em estudos acadêmicos e práticas aplicadas às modelagens. Sua origem remonta ao trabalho de Rozman, Polančič e Horvat [5], cujo objetivo foi identificar e categorizar os erros mais comuns cometidos por modeladores na utilização da notação BPMN, oferecendo uma base sistemática para a análise e prevenção de falhas na modelagem de processos [5].

Além disso, o artefato possui influência direta de alguns dos trabalhos mencionados na seção anterior, como Um Catálogo de Boas Práticas, Erros Sintáticos e Semânticos em Modelos BPMN [8], o Guia Simplificado de Boas Práticas em Modelagem de Processos com BPMN [9], e enriquecido ao longo dos anos com sugestões válidas e pertinentes de estudantes, obtidas por meio de uma pesquisa qualitativa realizada no contexto do trabalho de graduação, ampliando o escopo e a aplicabilidade das boas práticas sugeridas.

Como resultado desse processo de amadurecimento empírico, elaborou-se o que consolidou os conteúdos anteriores e sistematizou as recomendações em um formato acessível e prático para aplicação didática e profissional. A figura 10 representa visualmente a dimensão dos critérios inclusos no checklist.

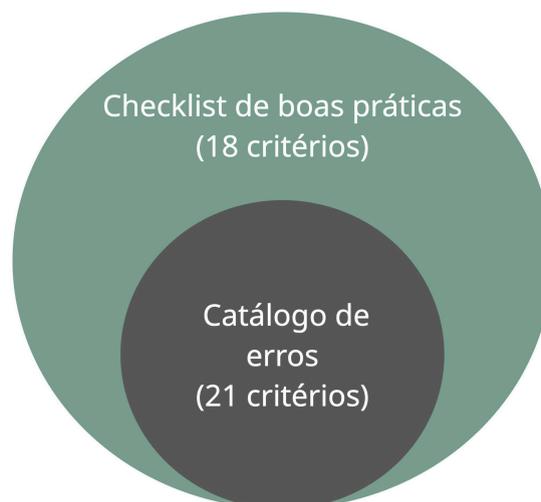


Figura 10 - Relação entre critérios do checklist e o catálogo de erros

Fonte: Elaboração própria

Estruturado em formato de tabela pelos professores da área de ensino, conforme apresentado na Tabela 6, hoje serve tanto como instrumento

padronizado para a avaliação das modelagens de processos realizadas nesta pesquisa quanto como um guia didático para os estudantes.

Apesar da consolidação de checklist como instrumento didático na disciplina avaliada, permanece uma incerteza quanto à sua real eficácia como recurso capaz de impulsionar a qualidade dos modelos produzidos [10].

| <b>Categoria</b>                         | <b>Código</b> | <b>Itens avaliados</b>  |
|--|---------------|---|
| <b>Sintaxe 30%</b>                       | S1            | O conector “fluxo de sequência” está sendo utilizado apenas entre raias?                |
|  | S2            | O conector “fluxo de mensagem” está sendo utilizado apenas entre piscinas?              |
|  | S3            | Os desvios ( <i>Gateway</i> ) estão sendo conectados pelo conector fluxo de sequência?  |
|  | S4            | Evento de início foi inserido para cada piscina?  |
|  | S5            | Evento final foi inserido para cada piscina?  |
|  | S6            | Existe apenas um evento inicial na piscina?   |
|  | S7            | Evento de término estabelecido quando o fluxo é interrompido por alguma inconsistência? |
|  | S8            | Os desvios ( <i>Gateway</i> ) possuem mais de um fluxo?                                 |
|  | S9            | O tipo de cada tarefa está correto?   |
|  | S10           | O tipo de cada <i>gateway</i> está correto?   |
|  | S11           | O tipo de cada evento está correto?   |
|  | S12           | Cada raia possui o seu respectivo responsável?  |
|  | S13           | As tarefas estão associadas a apenas uma raia?  |
|  | S14           | Todos os eventos de link possuem nome?  |
|  | S15           | Todas as atividades do processo foram representadas em raias diferentes?                |
| <b>Modelagem alinhada à proposta 20%</b> | MA1           | As tarefas esperadas para o processo foram modeladas?                                   |
|  | MA2           | Os atores esperados para o processo foram modelados?                                    |
|  | MA3           | Os eventos esperados foram modelados?   |
|  | MA4           | Os objetos de fluxo esperados foram modelados?  |
|  | MA5           | Os <i>gateways</i> esperados para o processo foram modelados?                           |

|                              |      |  |
|------------------------------|------|--|
| <b>Semântica<br/>20%</b>     | S1   | Todas as tarefas estão sendo conectadas com o restante do processo por meio dos objetos de conexão?  |
|                              | S2   | Todas as tarefas possuem apenas um fluxo de saída?   |
|                              | S3   | Todas as tarefas representam ações? (há ausência de tarefa que representa um resultado?)   |
|                              | S4   | Todas as tarefas estão dispostas na raia do responsável correto?   |
| <b>Boas práticas<br/>20%</b> | BP1  | Evento de início e fim possuem rótulo?   |
|                              | BP2  | Os desvios ( <i>Gateway</i> ) exclusivos possuem rótulo com a decisão a ser tomada?  |
|                              | BP3  | Os <i>gateways</i> possuem uma convergência quando aplicável?  |
|                              | BP4  | As tarefas possuem um substantivo e estão no infinitivo?   |
|                              | BP5  | As descrições das tarefas estão escritas com uma descrição breve e objetiva?   |
|                              | BP6  | O nome da piscina corresponde ao nome do processo?   |
|                              | BP7  | Os nomes das tarefas não estão escritas em forma de siglas ou abreviaturas?  |
|                              | BP8  | São usados nomes breves e objetivos para os eventos, os <i>gateways</i> e as atividades?   |
|                              | BP9  | A nomenclatura dos objetos, tarefas, subprocessos, piscinas e raias está padronizada? (exemplo, tamanho, dentro ou fora do elemento, acima, abaixo ou ao lado) |
|                              | BP10 | As tarefas redundantes foram excluídas?  |
| <b>Legibilidade<br/>10%</b>  | L1   | Existe ausência de cruzamento de linhas ou de conexões entre elementos?  |
|                              | L2   | Os atores estão inseridos nas raias de acordo com a sua ordem de aparecimento no processo?   |
|                              | L3   | O fluxo do processo está sendo representado da esquerda para a direita?  |
|                              | L4   | Todos os elementos estão conectados?   |
|                              | L5   | As tarefas e desvios ( <i>Gateway</i> ) estão dispostos sob a lógica de funcionamento do processo?   |

## Tabela 6 - Checklist de Boas práticas

Com base na tabela, é possível perceber que o checklist adaptado passou a organizar os critérios de avaliação em categorias que refletem aspectos essenciais para a qualidade de um modelo de processos de negócio [7]. Cada categoria foi estruturada em linhas, com a primeira coluna identificando a categoria e seu respectivo peso percentual na composição da nota total, seguida pelo código referencial — uma abreviação que permite a rápida citação do critério ao longo da análise — e, por fim, a descrição completa do item avaliado. A partir dessa descrição, são gerados feedbacks para os alunos durante a correção dos exercícios.

A categoria **Sintaxe**, com peso de 30%, representa o componente de maior importância dentro do checklist, tendo em vista que concentra os maiores índices de erro cometidos pelos modeladores — conforme será demonstrado na seção 4.3 —, e motiva a atenção ampliada por parte dos revisores durante o processo de correção. Já a categoria **Modelagem Alinhada à Proposta** contempla critérios relacionados às habilidades de interpretação do modelador, focando na capacidade de traduzir, de forma adequada, o processo de negócio descrito no enunciado. O critério da **Semântica** refere-se à coerência lógica do modelo, avaliando se as tarefas e elementos estão organizados de maneira a construir sentido na leitura do fluxo geral, conforme delineado no texto que descreve o processo. Já a categoria de **Boas Práticas** abrange aspectos que, embora não sejam obrigatórios para o funcionamento técnico do modelo, contribuem significativamente para a elevação de sua qualidade, clareza e aderência às recomendações amplamente aceitas na modelagem de processos de negócio. Por fim, a categoria **Legibilidade** envolve critérios que avaliam o grau de acessibilidade e a facilidade de interpretação do modelo, assegurando que o diagrama possa ser facilmente compreendido, inclusive por pessoas que não participaram diretamente de sua elaboração.

Essa estrutura foi sistematicamente concebida para que, por meio do código referencial atribuído a cada item, seja possível sintetizar o checklist nas análises subsequentes presentes no trabalho, evitando a repetição extensiva de descrições e promovendo maior objetividade e clareza na apresentação dos resultados e divulgação de feedback para os alunos. Com isso, o checklist foi incorporado à metodologia de ensino da disciplina e passou a ser aplicado tanto à rubrica de correção quanto à algumas propostas de exercícios.

## 4.2 PP1: a utilização de checklist de boas práticas como recurso didático influencia positivamente a qualidade dos modelos BPMN desenvolvidos pelos estudantes?

Esta seção busca responder a PP1, cuja hipótese visa verificar se a utilização de checklist de boas práticas influencia positivamente a qualidade dos modelos BPMN produzidos por estudantes.

### 4.2.1 Apresentação dos dados

Para responder à pergunta de pesquisa PP1 com maior rigor, optou-se por selecionar apenas os grupos cujas condições são mais compatíveis e semelhantes em relação aos principais fatores de controle da análise [27], nomeadamente: NEA, CFC e número de participantes por grupo. Essa seleção buscou minimizar a influência de vieses estruturais ou pedagógicos, permitindo uma comparação mais justa entre os grupos que utilizaram o checklist e aqueles que não tiveram acesso a ele durante a elaboração dos modelos.

A Tabela 7 apresenta os principais dados coletados nas turmas selecionadas, com destaque para os exercícios 2 e 3 — momentos em que a diferenciação no uso de checklist foi efetivamente observada. Para cada grupo, estão informados: o CFC, o NEA, soma das notas, média, valores mínimo e máximo, quantidade de alunos e a nota normalizada, calculada com base em um índice ponderado considerando CFC e NEA.

| Checklist | Turma  | Ex. | CFC | NEA | Soma   | Média | Mín  | Máx  | Quantidade | Média Normalizada |
|-----------|--------|-----|-----|-----|--------|-------|------|------|------------|-------------------|
| Sim       | 2023.1 | 2   | 12  | 0,4 | 212,55 | 7,33  | 3,2  | 10   | 29         | 1,53              |
| Sim       | 2023.1 | 3   | 13  | 0,8 | 166    | 6,64  | 4,33 | 10   | 25         | 0,64              |
| Sim       | 2023.2 | 2   | 9   | 0,6 | 232,29 | 7,04  | 0    | 9,88 | 33         | 1,3               |
| Sim       | 2023.2 | 3   | 13  | 1   | 188,8  | 5,9   | 0    | 10   | 32         | 0,45              |
| Não       | 2022.2 | 2   | 12  | 0,4 | 179,96 | 8,57  | 7,67 | 10   | 21         | 1,79              |
| Não       | 2022.2 | 3   | 13  | 0,8 | 161,97 | 8,1   | 4,6  | 10   | 20         | 0,78              |
| Não       | 2024.2 | 2   | 8   | 0,4 | 254,45 | 7,71  | 4    | 9,6  | 33         | 2,41              |
| Não       | 2024.2 | 3   | 13  | 0,8 | 162,5  | 7,74  | 0    | 10   | 21         | 0,74              |

Tabela 7 - Comparativo dos resultados por grupo (exercícios 2 e 3)

As médias apresentadas revelam variações importantes entre os grupos com e sem checklist, sobretudo quando se considera o contexto estrutural e pedagógico no qual os modelos foram produzidos. Observa-se, por exemplo, que em exercícios de maior complexidade e com NEA elevado, o grupo sem

checklist manteve médias superiores, ao passo que, em exercícios de menor complexidade ou com NEA intermediário, o grupo com checklist apresentou desempenho competitivo.

Além disso, é importante ressaltar que o grupamento com checklist inclui os exercícios 2 e 3 das turmas 2023.1 e 2023.2, nas quais os alunos tiveram acesso contínuo ao checklist como ferramenta de apoio à modelagem desde o início das atividades; O grupamento sem checklist contempla os exercícios 2 e 3 das turmas 2022.2 e 2024.2, nas quais o checklist foi utilizado apenas como instrumento de correção, não sendo disponibilizado aos estudantes durante a produção dos modelos.

A tabela completa com dados de todas as turmas e exercícios analisados está disponibilizada no repositório do apêndice A, permitindo rastreabilidade e transparência metodológica; como a análise se inicia a partir do exercício 2, e o NEA é superior a 0, assume-se que os estudantes já possuíam um grau mínimo de familiaridade com a notação BPMN, o que reforça a validade da comparação entre os grupos.

À medida que a complexidade dos modelos de processo aumenta, observa-se uma tendência de redução na aplicação dos critérios definidos em checklist de boas práticas. Isso ocorre porque processos mais elaborados apresentam um maior composição e interações, tornando a aplicação rigorosa de checklist mais desafiadora para os modeladores. Com a elevação da dificuldade, os estudantes podem concentrar-se mais na estruturação lógica do processo, deixando de lado aspectos formais e de boas práticas que seriam mais facilmente observados em modelos menos complexos [10].

#### **4.2.2 Análise estatística e discussão dos resultados**

A aplicação do teste t entre os grupos de estudantes que utilizaram o checklist e os que não o utilizaram resultou em um valor de  $t = -0,9333$  e  $p = 0,3929$ , indicando que não há diferença estatisticamente significativa entre as médias dos dois grupos. Como o p-valor é superior ao nível de significância adotado ( $\alpha = 0,05$ ), não se pode rejeitar a hipótese nula. Ou seja, a diferença observada nas médias pode ter ocorrido ao acaso e não fornece evidência estatística suficiente para afirmar que o uso de checklist teve impacto positivo sobre o desempenho dos estudantes.

De modo semelhante, a ANOVA aplicada para comparar os desempenhos ao longo dos exercícios resultou em  $F = 0,8710$  e  $p = 0,3867$ , também acima do limiar de significância adotado. Assim, os resultados da ANOVA reforçam a conclusão de que não há evidência estatística para sustentar que o checklist gerou um efeito significativo nas notas atribuídas aos modelos BPMN (Tabela 8).

| Teste                     | Resultado                    | Conclusão                                  |
|---------------------------|------------------------------|--|
| teste t de <i>Student</i> | $t = -0,9333$ e $p = 0,3929$ | Não foi possível rejeitar a hipótese nula. |
| ANOVA                     | $F = 0,8710$ e $p = 0,3867$  | Não foi possível rejeitar a hipótese nula. |

Tabela 8 - Resultados estatísticos

Em síntese, os dados indicam que, nas condições específicas da amostra analisada (exercícios 2 e 3 de turmas selecionadas), o uso de checklist como recurso didático não resultou em impacto estatisticamente significativo nas médias das notas. Apesar de variações terem sido observadas em alguns exercícios, elas não foram suficientes para sustentar uma relação causal entre o uso do artefato e o desempenho final.

No entanto, a ausência de significância estatística não implica a ineficácia pedagógica de checklist. Fatores como o tempo de exposição ao recurso, como foi utilizado, o grau de familiaridade dos estudantes com a notação, a complexidade dos exercícios e o nível de instrução podem ter influenciado os resultados. Além disso, tanto o teste t quanto a ANOVA avaliam apenas as médias das notas e não capturam outras dimensões qualitativas, como clareza, legibilidade ou número de erros estruturais nos modelos. Dessa forma, recomenda-se que estudos futuros explorem métricas complementares e realizem análises mais aprofundadas para melhor compreender o impacto de checklist no processo de aprendizagem.

#### 4.2.3 Limitações encontradas na PP1

Reconhecem-se ameaças metodológicas que podem ter influenciado os resultados, com estratégias de controle aplicadas para mitigar vieses.

O primeiro fator limitante seria a própria amostra utilizada. O estudo baseou-se em subconjuntos específicos de turmas e exercícios, selecionados por critérios de compatibilidade pedagógica e estrutural (CFC e NEA). Embora isso tenha aprimorado a comparabilidade entre grupos, reduz a generalização dos achados. O número de participantes por grupo, apesar de estatisticamente aceitável, apresenta variações que podem introduzir desequilíbrios nas análises.

As notas, por outro lado, seguiram critérios uniformes baseados no checklist, porém a correção envolve julgamento humano, introduzindo variações subjetivas. A forma de utilização do checklist pelos estudantes não

foi monitorada sistematicamente, impedindo análise de sua apropriação pedagógica. Variáveis contextuais como tempo disponível, ambiente de aprendizagem, experiência prévia com ferramentas ou influência de trabalhos em grupo não foram controladas, podendo atuar como fatores intervenientes.

#### 4.3 PP2: quais categorias de erros mais frequentes em modelos BPMN, mesmo após os avanços de recursos didáticos e de ferramentas de modelagem?

Esta seção apresenta o levantamento sistemático das falhas observadas propriamente ditas nos modelos BPMN desenvolvidos. O objetivo central é identificar as categorias de erros mais frequentes entre os períodos de 2022.2 e 2024.2.

No exercício 1 (Figura 11), cujo NEA, conforme definido na PP1, é igual a 0,2 — 20% do conteúdo previamente ministrado —, observou-se uma distribuição relativamente homogênea entre as categorias de erro identificadas. Todavia, destaca-se a predominância de falhas relacionadas à categoria de **Modelagem alinhada à proposta**, ressaltando que a maior dificuldade dos estudantes no primeiro contato com a modelagem é em interpretar o texto e convertê-lo da linguagem natural para a linguagem BPMN 2.0.

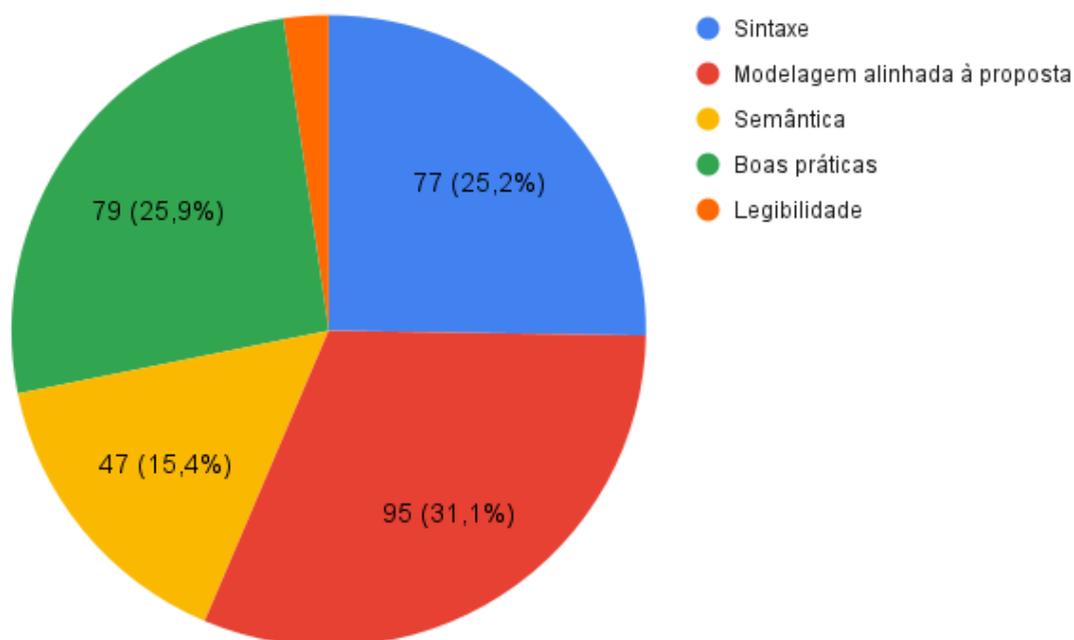


Figura 11 – Erros categóricos observados no Exercício 1  
Fonte: Elaboração própria.

Já no gráfico de Frequência dos erros do exercícios (Figura 12), observa-se que os erros de **Boas Práticas** apresentaram um aumento significativo no semestre 2023.2, possivelmente relacionado ao maior rigor exigido na estruturação do modelo. Já os desvios de **Sintaxe**, apesar de sofrerem uma queda em 2024.1, voltam a crescer de forma acentuada em 2024.2, tornando-se a categoria com maior incidência. A categoria **Modelagem Alinhada à Proposta** se mantém estável, com leve oscilação, enquanto os erros de **Semântica** e **Legibilidade** apresentam crescimento gradual e discreto.

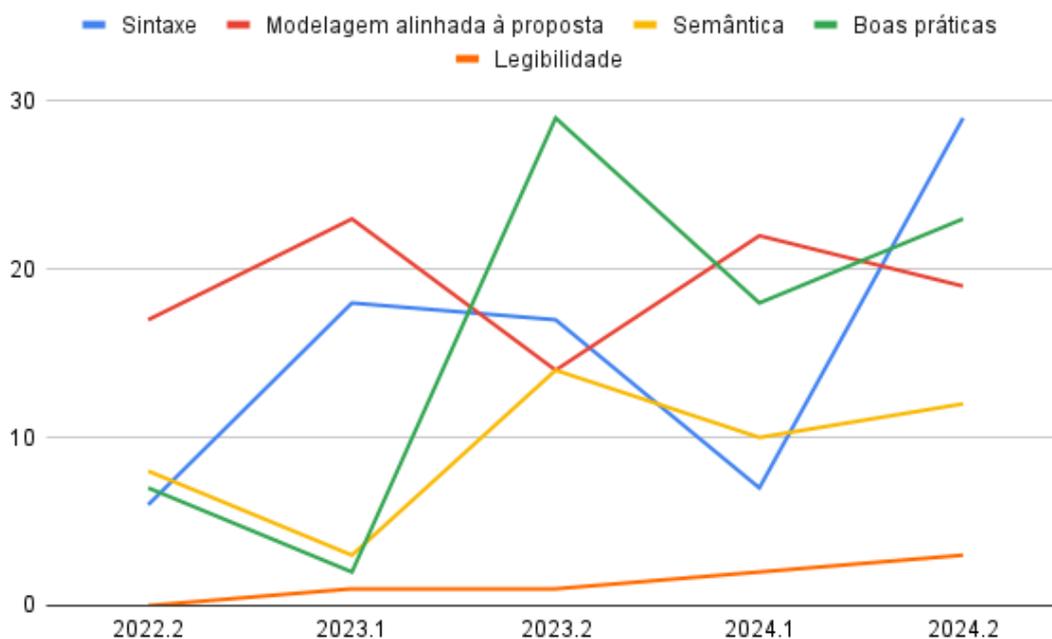


Figura 12 – Frequência de erros no exercício 1

Fonte: Elaboração própria.

No segundo exercício (Figura 13), cujo NEA situa-se entre 0,4 e 0,6, mantém-se a predominância dos erros **Sintáticos** (cerca de 36%), porém observa-se um aumento significativo nos erros de **Semântica** (aproximadamente 28,8%), indicando que, à medida que os exercícios se tornam mais complexos, os estudantes enfrentam maiores dificuldades em conectar logicamente os elementos do processo. Os erros de **Modelagem Alinhada à Proposta** permanecem relevantes (20%), enquanto **Boas Práticas** e **Legibilidade** mostram crescimento gradual, sugerindo que os alunos começam a ser avaliados em critérios mais refinados conforme avançam no aprendizado.

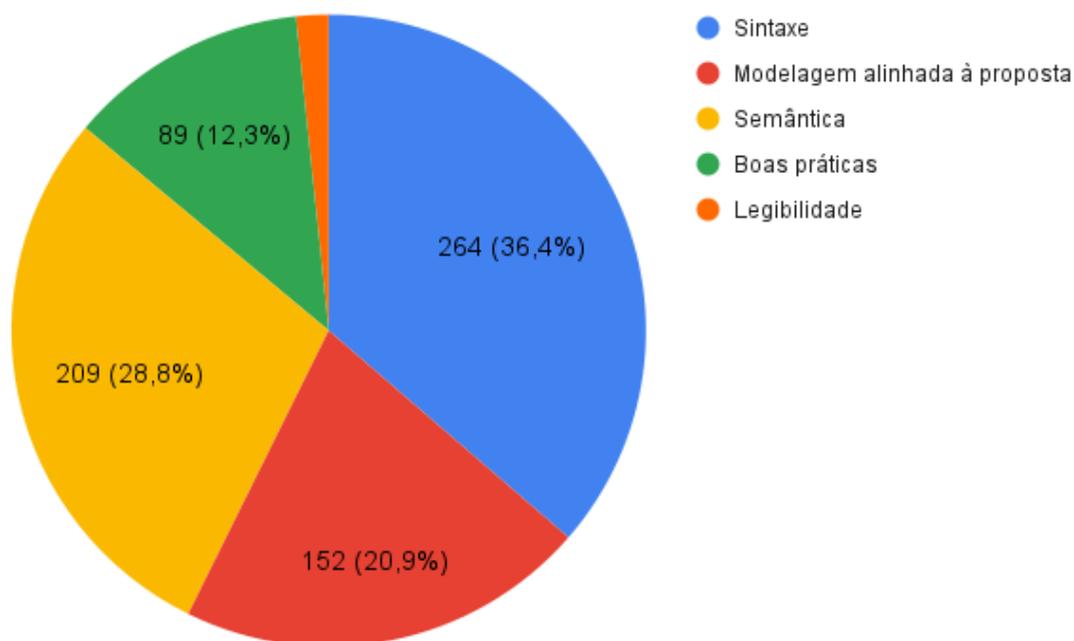


Figura 13 – Erros categóricos observados no Exercício 2  
 Fonte: Elaboração própria.

A frequência de erros do segundo exercício (Figura 14), contudo, os desvios de **Sintaxe** despontam como os mais recorrentes, com destaque para os semestres 2023.1 e 2024.2, em que se verifica uma elevação expressiva. A categoria **Modelagem Alinhada à Proposta** também apresenta alta incidência em 2023.1, seguida por queda nos semestres posteriores. Por outro lado, os erros de **Semântica** demonstram crescimento progressivo, sugerindo que, à medida que a complexidade dos modelos aumenta, os estudantes enfrentam maiores dificuldades em conectar corretamente os elementos do fluxo. Os erros de **Boas Práticas** e **Legibilidade** permanecem com valores mais baixos, embora apresentem tendência de crescimento.

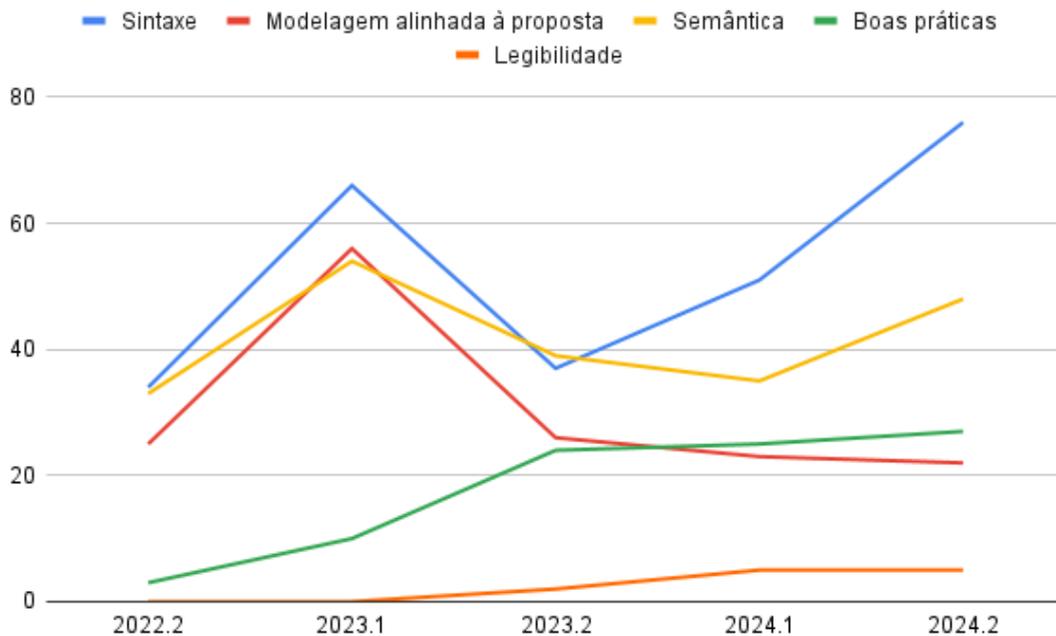


Figura 14 - Frequência de erros em novos critérios adicionados ao checklist no exercício 2

Fonte: Elaboração própria.

No exercício 3 (Figura 15), com NEAs variando entre 0,8 e 1, os erros de **Sintaxe** constituem a categoria mais predominante, o que evidencia as dificuldades persistentes dos estudantes com as regras formais da notação BPMN, incluindo uso inadequado de conectores, ausência de eventos de início/fim e problemas na estruturação básica dos diagramas.

Os erros de Modelagem Alinhada à Proposta ocupam a segunda, indicando desafios significativos na interpretação e tradução dos enunciados textuais para representações gráficas adequadas. Esta categoria reflete principalmente dificuldades na compreensão dos requisitos de negócio e na identificação correta de atores, tarefas e eventos descritos nas propostas.

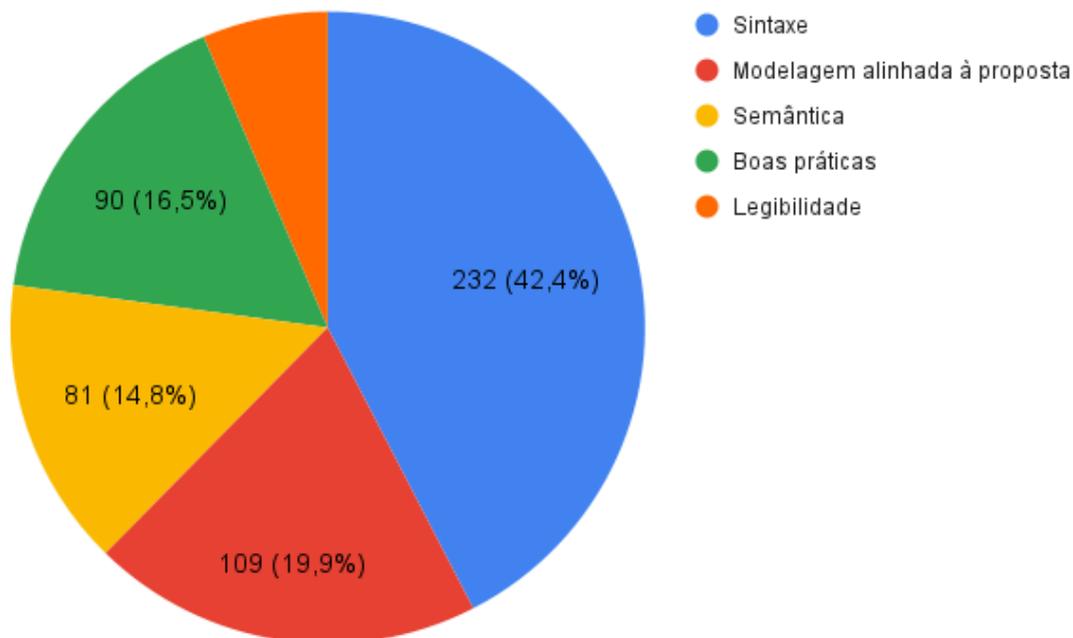


Figura 15 – Erros categóricos observados no Exercício 3  
 Fonte: Elaboração própria.

A observação do terceiro exercício (Figura 16) mostra que as falhas de **Sintaxe** se mantêm como a principal categoria ao longo dos semestres, ainda que com variações. A **Modelagem Alinhada à Proposta** aparece com alta frequência em 2023.1 e 2023.2, diminuindo posteriormente. Os erros de **Boas Práticas** aumentam gradualmente até 2024.1, quando atingem o pico, e decrescem em seguida. As categorias **Semântica** e **Legibilidade** mantêm padrão semelhante, com evolução constante nos semestres iniciais e redução em 2024.2.

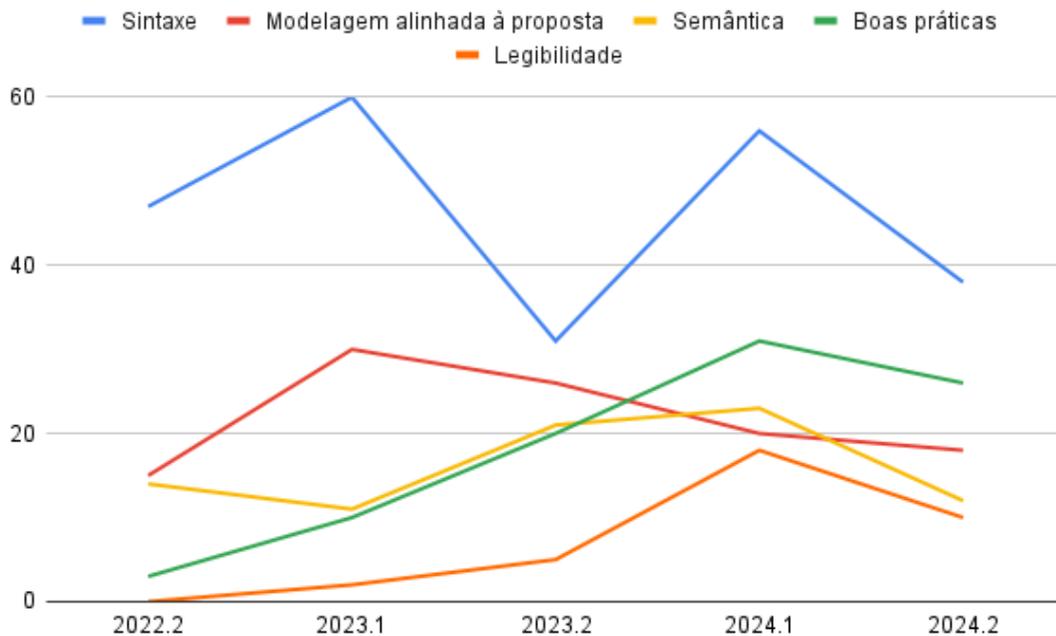


Figura 16 - Frequência de erros em novos critérios adicionados ao checklist no exercício 3.

Fonte: Elaboração própria.

Já no último exercício (Figura 17), os erros de **Sintaxe** dominam significativamente, indicando que mesmo em exercícios mais avançados, os estudantes ainda enfrentam dificuldades substanciais com as regras formais da notação BPMN.

Os erros de **Modelagem Alinhada à Proposta** mantém-se como a segunda categoria mais frequente. Os erros Semânticos alcançam 13,5%, enquanto Boas Práticas e Legibilidade apresentam frequências menores.

Esta distribuição no exercício final demonstra que, apesar do amadurecimento dos estudantes ao longo do semestre, os desafios sintáticos permanecem como principal obstáculo na modelagem BPMN, seguidos por dificuldades na interpretação e tradução adequada dos requisitos de processo.

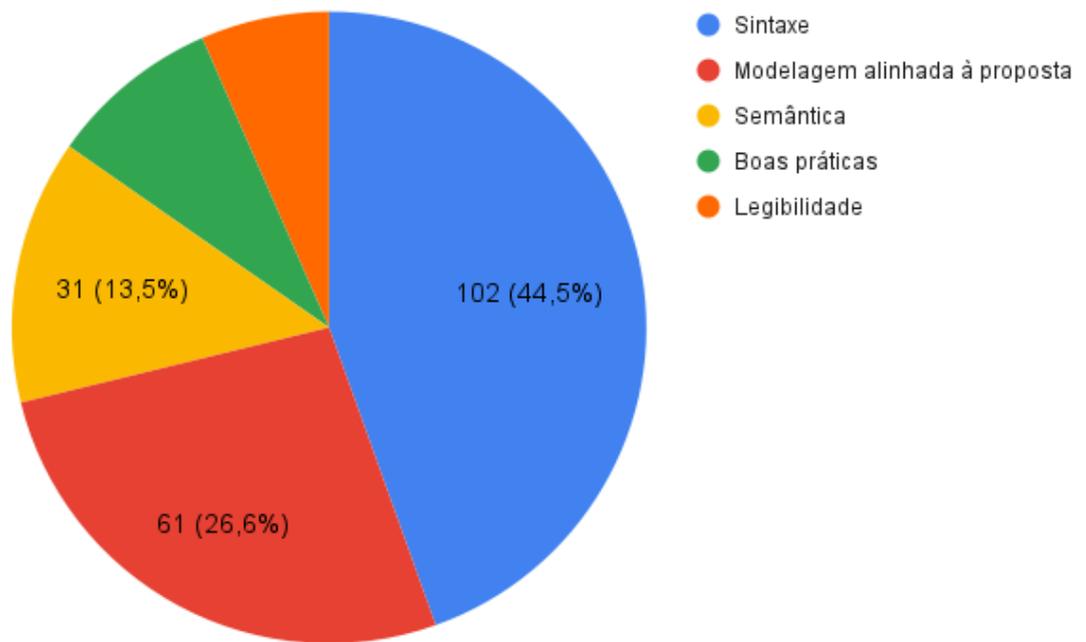


Figura 17 – Erros categóricos observados no Exercício 3  
 Fonte: Elaboração própria.

Na figura 18, é evidente a predominância de erros de **Sintaxe**, os quais crescem de forma contínua e atingem seu valor máximo em 2024.2. A **Modelagem Alinhada à Proposta** registra queda progressiva, possivelmente devido ao amadurecimento dos alunos na interpretação de processos. Os erros de **Semântica**, **Boas Práticas** e **Legibilidade** apresentam crescimento moderado, sugerindo que, apesar de serem menos frequentes, continuam exigindo atenção pedagógica.

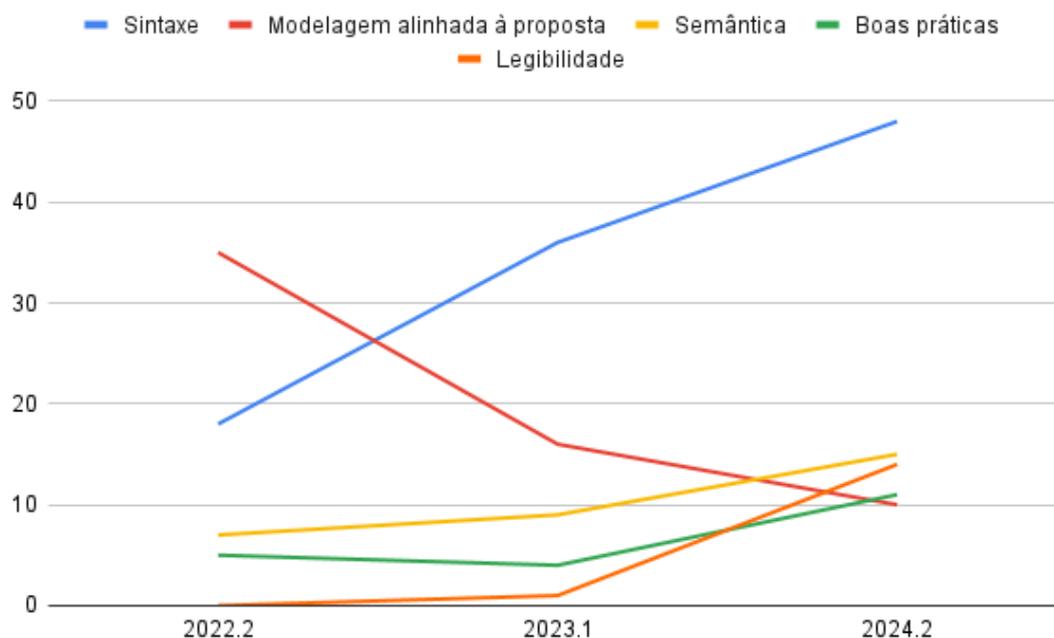


Figura 18 - Frequência de erros em novos critérios adicionados ao checklist no exercício 4

Fonte: Elaboração própria.

A categoria **Sintaxe** concentra a maioria dos erros, especialmente nos exercícios de maiores NEAs (Ex. 3 e 4), o que pode estar associado também à complexidade técnica da notação. A **Modelagem Alinhada à Proposta** é particularmente desafiadora nos exercícios iniciais, evidenciando a dificuldade dos estudantes em interpretar corretamente os enunciados e convertê-los em modelos formais. Já os erros de **Boas Práticas**, **Semântica** e **Legibilidade** demonstram crescimento gradual e devem ser considerados no aprimoramento de estratégias didáticas.

#### 4.3.1 Discussão dos resultados

Os dados obtidos ao longo dos exercícios analisados revelam não apenas a persistência de padrões de erro já identificados em levantamentos anteriores [8], como também o surgimento de novas falhas associadas à evolução da prática pedagógica e dos instrumentos avaliativos. A análise desses achados permite aprofundar a compreensão sobre o impacto das estratégias de ensino-aprendizagem e seus reflexos na formação dos estudantes.

Em primeiro lugar, a dominância de erros classificados como sintáticos e de modelagem alinhada à proposta — especialmente nos exercícios de maior complexidade e com NEA mais elevado — evidencia a dificuldade estrutural dos estudantes em lidar com elementos mais avançados da notação, mesmo

após avanços didáticos como a introdução de checklist de boas práticas. Isso sugere que a internalização de certos conceitos e regras formais da notação BPMN ainda não ocorre de maneira consolidada.

Conjuntamente, é importante destacar que o amadurecimento de checklist ao longo dos anos influenciou diretamente a sensibilidade e o grau de exigência da avaliação. A adição de novos critérios — mais específicos e orientados a práticas reais — resultou em um instrumento avaliativo mais rigoroso, o que, por sua vez, ampliou o escopo da observação e permitiu o registro de um número maior de erros. Nesse sentido, parte do aumento da frequência de determinadas falhas pode estar associado não a uma piora no desempenho dos alunos, mas à evolução da capacidade diagnóstica da metodologia de correção adotada.

Ademais, a predominância de falhas de modelagem alinhada à proposta nos exercícios iniciais, seguida por um crescimento dos erros sintáticos à medida que os exercícios se tornam mais complexos, sugere uma progressão natural das dificuldades enfrentadas pelos estudantes: inicialmente, interpretativas, e, posteriormente, estruturais.

#### **4.3.2 Limitações encontradas na PP2**

Apesar do esforço metodológico para garantir a abrangência e a precisão da análise, esta investigação também apresenta algumas ameaças que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. A primeira delas diz respeito à natureza empírica da catalogação dos erros. Ainda que o checklist de boas práticas tenha sido utilizado como base padronizada para a avaliação, a identificação das novas falhas não previstas no instrumento vigente envolveu certo grau de julgamento empírico por parte dos avaliadores, o que pode ter introduzido subjetividades na classificação de falhas.

Ademais, conforme referido no capítulo anterior, a distribuição das ferramentas de modelagem utilizadas pelos estudantes não foi homogênea entre os semestres. A predominância do uso de algumas ferramentas em detrimento de outras pode ter influenciado o tipo e a frequência de erros observados. Essa variabilidade tecnológica, embora represente a realidade de escolha livre dos alunos, também impôs desafios à comparação direta entre modelos desenvolvidos em plataformas distintas.

Outro ponto a ser considerado é que a análise dos desvios baseou-se na avaliação de modelos submetidos em um contexto educacional específico, em que os estudantes receberam orientações, materiais e apoio diferenciados conforme o semestre e a atuação dos monitores responsáveis. Essas variações didáticas, embora inerentes ao ambiente acadêmico, podem ter

impactado os resultados de forma não controlada. Da mesma forma, o tempo destinado à realização das atividades e o nível de maturidade acadêmica dos alunos também variaram entre as turmas analisadas.

Por fim, a ausência de uma validação externa formal — por avaliadores independentes ou especialistas externos à equipe pedagógica — pode ter limitado a robustez da análise em termos de confiabilidade inter avaliador. Embora a correção tenha seguido critérios objetivos e rubricas claras, a replicabilidade dos achados em outros contextos dependerá de novas investigações com controle mais rigoroso das variáveis intervenientes.

#### **4.4 PP3: existe relação entre a ferramenta de modelagem BPMN utilizada e a quantidade de erros cometidos?**

Os resultados desta seção foram divididos conforme os três eixos avaliados sobre o desempenho de diferentes ferramentas de modelagem de BPMN.

##### **4.4.1 Resultados da avaliação do nível de robustez das ferramentas de modelagem BPMN**

A avaliação adotou uma abordagem sistemática baseada em dez critérios previamente definidos (Tabela 9), os quais refletem aspectos centrais para a construção de modelos de processos de negócio precisos, eficientes e adaptáveis a diferentes contextos. Esses critérios abrangem tanto a conformidade técnica com a notação BPMN 2.0 quanto recursos que influenciam a experiência do usuário, a colaboração e a integração tecnológica [6].

Para avaliar o grau de atendimento de cada critério, foi utilizada uma escala de pontuação de 0 a 5, na qual 0 indica a total ausência da funcionalidade e 5 representa o atendimento pleno, com alta qualidade e referência entre as ferramentas. Essa escala permitiu classificar o desempenho de cada ferramenta considerando desde a inexistência da funcionalidade até sua implementação mais completa, intuitiva e eficiente. A pontuação foi atribuída com base na presença, na qualidade e na abrangência das funcionalidades avaliadas, permitindo a construção de uma análise comparativa precisa e sistemática (tabela 7). A soma das pontuações compõe o seu coeficiente de robustez geral, permitindo uma visão consolidada de seu desempenho.

| <b>Característica geral</b> | <b>Descrição</b> | <b>Bizagi</b> | <b>BPMN.io</b> | <b>Drawn.io</b> | <b>Heflo</b> | <b>Lucidchart</b> | <b>Miro</b> |
|-----------------------------|------------------|---------------|----------------|-----------------|--------------|-------------------|-------------|
| Suporte                     | Capacidade de    | 5             | 5              | 3               | 5            | 5                 | 3           |

|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Completo ao BPMN 2.0                        | modelar todos os elementos da notação BPMN 2.0, incluindo subprocessos, eventos intermediários e exceções                               |   |   |   |   |   |   |
| Validação Automática de Modelos             | Verificação de erros automaticamente e apresentação de sugestões para correção (exemplo: um evento de início sem conexão).              | 5 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| Simulação e Análise de Processos            | Permite rodar simulações para testar fluxos antes da implementação, analisando gargalos e otimizações.                                  | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Colaboração em Tempo Real                   | Funcionalidade de trabalho em equipe, permitindo que múltiplos usuários editem e comentem simultaneamente                               | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 | 5 |
| Geração de Código e Integração com Sistemas | Exportação para BPMN XML, compatibilidade com motores de execução (Camunda, jBPM, Bizagi), integração com APIs e automação de processos | 3 | 3 | 0 | 2 | 5 | 0 |
| Interface                                   | Layout intuitivo  | 4 | 5 | 2 | 4 | 4 | 4 |

|   |  |           |           |           |           |           |           |
|---|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Intuitiva e UX Avançada                           | com ferramentas de arrastar e soltar, atalhos rápidos e uma boa organização de elementos.  |           |           |           |           |           |           |
| Recursos de Documentação e Anotações              | Capacidade de adicionar metadados, descrições e documentações vinculadas a tarefas e subprocessos                                | 5         | 5         | 0         | 4         | 3         | 5         |
| Controle de Versão e Histórico de Alterações      | Permite rastrear mudanças feitas no modelo, restaurar versões anteriores e comparar alterações                                   | 4         | 0         | 5         | 0         | 0         | 0         |
| Suporte a Modelagem Colaborativa e Comentários    | Usuários podem adicionar feedback direto no diagrama, atribuir tarefas e fazer revisões colaborativas                            | 0         | 0         | 0         | 5         | 3         | 5         |
| Customização e Extensibilidade                    | <i>Plugins</i> , personalização de elementos gráficos e suporte a extensões para adaptar a ferramenta a necessidades específicas | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>Coeficiente de robustez por funcionalidade</b> |  | <b>27</b> | <b>18</b> | <b>10</b> | <b>25</b> | <b>27</b> | <b>22</b> |

Tabela 9 - Avaliação do nível de robustez das ferramentas de modelagem BPMN

A avaliação revelou que as ferramentas Bizagi e Lucidchart apresentaram o maior coeficiente de robustez geral (27 pontos), destacando-se

por sua aderência à notação BPMN, recursos de documentação, interface amigável e integração com sistemas externos. A ferramenta Heflo, com 25 pontos, também demonstrou alto nível de suporte, especialmente em aspectos colaborativos e de usabilidade.

Por outro lado, ferramentas como Drawn.io e Miro, apesar de populares por sua simplicidade e acessibilidade, apresentaram coeficientes mais baixos (10 e 22 pontos, respectivamente), refletindo a ausência de funcionalidades técnicas mais avançadas, como validação automática de modelos, simulação de processos ou geração de código. O BPMN.io, com 18 pontos, mostra bom desempenho em critérios essenciais da notação, mas carece de suporte a funcionalidades complementares importantes.

O gráfico apresentado na figura 19 ilustra visualmente o desempenho geral das ferramentas com base na pontuação total:

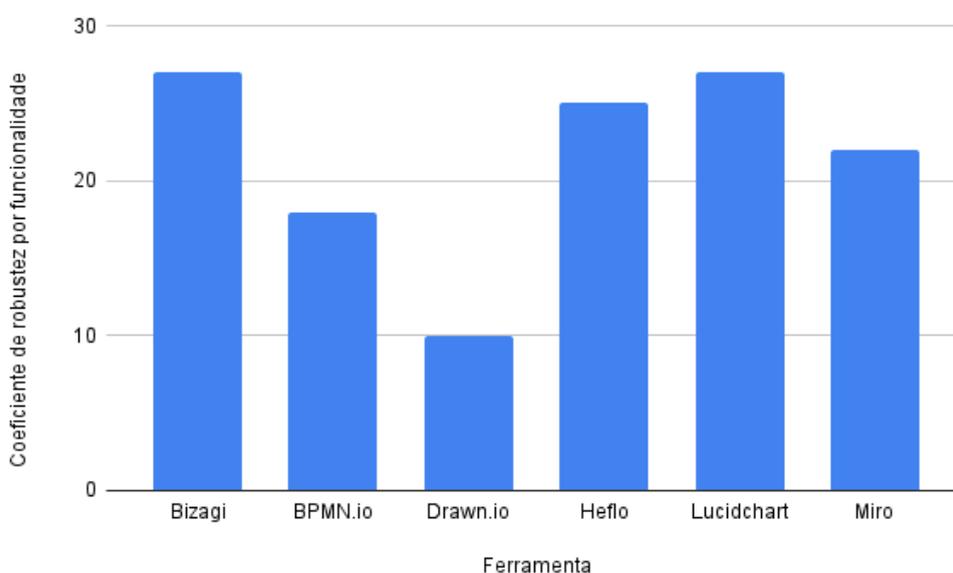


Figura 19 - Coeficiente de robustez por funcionalidade

Fonte: Elaboração própria.

A definição do coeficiente de robustez permite compreender que nem todas as ferramentas do espaço amostral oferecem o mesmo nível de suporte técnico e funcional para a modelagem BPMN. Ferramentas com recursos mais completos tendem a favorecer a aplicação correta da notação, reduzir desvios estruturais e melhorar a experiência de aprendizagem ou uso profissional.

#### 4.4.2 Resultados da avaliação da adesão das Ferramentas de Modelagem ao Checklist de Boas Práticas

A avaliação considerou os 39 critérios da Tabela 10 distribuídos em cinco categorias vistas anteriormente: sintaxe, modelagem alinhada à proposta, semântica, boas práticas e legibilidade. Para cada critério, foi atribuída uma nota de 0 a 3, onde:

- 0 – o critério não é suportado ou há barreiras claras para sua aplicação;
- 1 a 2 – o suporte é parcial ou requer esforço considerável do usuário;
- 3 – o critério é totalmente atendido com facilidade, precisão e consistência.

Para garantir a equidade da análise, foram construídos cenários controlados em que cada item de checklist era exigido, permitindo observar a resposta prática das ferramentas diante da necessidade de aplicação dos critérios. Assim, para assegurar uma avaliação abrangente e justa, a análise foi conduzida para contemplar cada critério individualmente, criando cenários propositais onde a aplicação de cada aspecto de checklist era necessária e avaliada.

| <b>Categoria</b> | <b>Código Referencial</b> | <b>Bizagi</b> | <b>BPMN.io</b> | <b>Drawn.io</b> | <b>Heflo</b> | <b>Lucidchart</b> | <b>Miro</b> |
|------------------|---------------------------|---------------|----------------|-----------------|--------------|-------------------|-------------|
| sintaxe          | S1                        | 3             | 3              | 0               | 3            | 0                 | 0           |
|                  | S2                        | 3             | 3              | 0               | 3            | 0                 | 0           |
|                  | S3                        | 3             | 3              | 0               | 3            | 0                 | 0           |
|                  | S4                        | 0             | 0              | 0               | 0            | 0                 | 0           |
|                  | S5                        | 0             | 0              | 0               | 0            | 0                 | 0           |
|                  | S6                        | 3             | 0              | 0               | 0            | 0                 | 0           |
|                  | S7                        | 0             | 0              | 0               | 0            | 0                 | 0           |
|                  | S8                        | 3             | 0              | 0               | 0            | 0                 | 0           |
|                  | S9                        | 0             | 0              | 0               | 0            | 0                 | 0           |
|                  | S10                       | 3             | 0              | 0               | 0            | 0                 | 0           |
|                  | S11                       | 0             | 0              | 0               | 0            | 0                 | 0           |
|                  | S12                       | 0             | 0              | 0               | 0            | 0                 | 0           |
|                  | S13                       | 3             | 3              | 0               | 3            | 0                 | 0           |
|                  | S14                       | 3             | 0              | 0               | 0            | 0                 | 0           |
|                  | S15                       | 0             | 0              | 0               | 0            | 0                 | 0           |

|                               |      |    |    |   |    |   |   |
|-------------------------------|------|----|----|---|----|---|---|
| Modelagem alinhada à proposta | MA1  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
|                               | MA2  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
|                               | MA3  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
|                               | MA4  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
|                               | MA5  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
| Semântica                     | S1   | 2  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
|                               | S2   | 2  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
|                               | S3   | 2  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
|                               | S4   | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
| Boas práticas                 | BP1  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
|                               | BP2  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
|                               | BP3  | 2  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
|                               | BP4  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
|                               | BP5  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
|                               | BP6  | 0  | 0  | 0 | 2  | 0 | 0 |
|                               | BP7  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
|                               | BP8  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
|                               | BP9  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
|                               | BP10 | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
| Legibilidade                  | L1   | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
|                               | L2   | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
|                               | L3   | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
|                               | L4   | 1  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
|                               | L5   | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 |
| <b>Total</b>                  |      | 33 | 12 | 0 | 14 | 0 | 0 |

Tabela 10 - Avaliação da Aderência das Ferramentas de Modelagem ao Checklist de Boas Práticas

Os resultados demonstram grande disparidade entre as ferramentas quanto à sua aderência ao checklist. A ferramenta Bizagi destacou-se com 13 critérios plenamente atendidos, o que representa um índice de aderência de 33%, considerando a totalidade dos critérios avaliados. Em seguida, Heflo obteve desempenho intermediário, com 5 critérios atendidos (13%).

A ferramenta BPMN.io atendeu 4 critérios (10%), com destaque para o uso automático de conectores corretos entre raias e piscinas. Apesar de oferecer uma interface simplificada, a ausência de suporte a regras mais avançadas limita sua capacidade de garantir a conformidade com boas práticas. As ferramentas Drawn.io, Lucidchart e Miro não atenderam a nenhum critério de forma satisfatória no contexto dos testes aplicados, resultando em índice de aderência nulo (0%). Isso pode ser justificado, em grande parte, ao fato de serem ferramentas generalistas de diagramas e não apenas focada em BPMN, isto é, sem suporte direto à notação ou validações automatizadas.

O gráfico a seguir (figura 20) resume visualmente o percentual de aderência ao checklist por ferramenta, destacando a superioridade do Bizagi nesse aspecto:

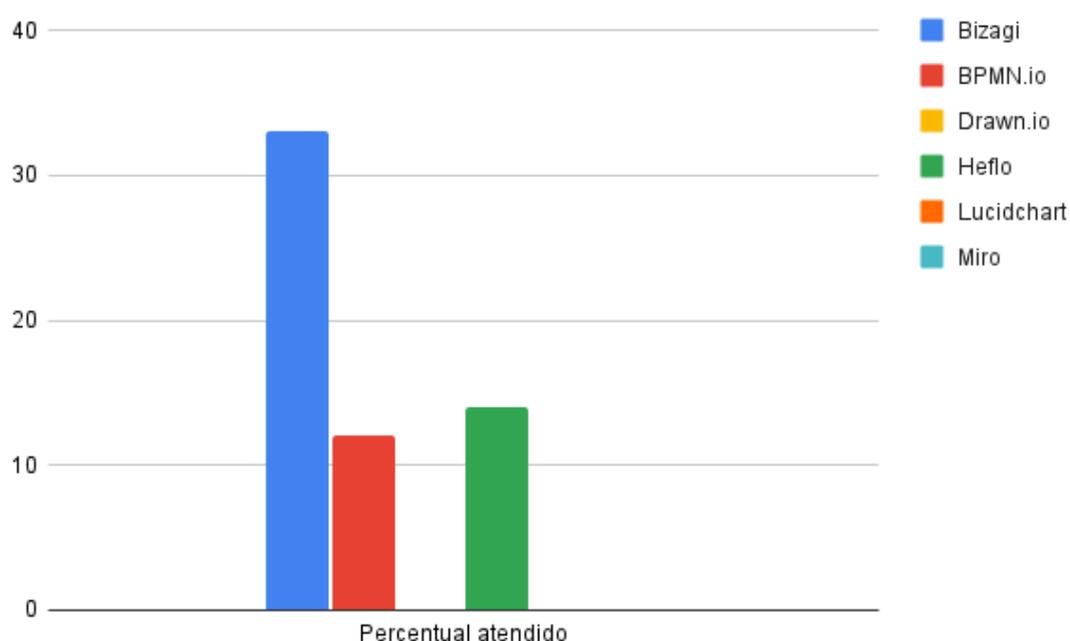


Figura 20 - Percentual de aderência ao checklist

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados indicam que os critérios “O conector ‘fluxo de sequência’ está sendo utilizado apenas entre raias?”, “O conector ‘fluxo de mensagem’ está sendo utilizado apenas entre piscinas?” e “Os desvios (*Gateway*) estão sendo conectados pelo conector ‘fluxo de sequência?’” foram atendidos pelas ferramentas Bizagi, BPMN.io e Heflo. Exceto o Bizagi, as demais ferramentas realizam a inserção automática tanto do conector de sequência quanto do conector de mensagem, o que facilita ainda mais a conformidade com esses itens de checklist.

No que se refere ao critério “As tarefas estão associadas a apenas uma raia?”, observou-se que o BPMN.io e o Heflo não permitem a inserção de tarefas entre diferentes raias ou piscinas, restringindo a modelagem a uma estrutura adequada. Já o Bizagi permite tal inserção; no entanto, notifica o erro durante a validação do modelo. Em relação aos critérios “Todas as tarefas estão sendo conectadas com o restante do processo por meio dos objetos de conexão?” e “Todas as tarefas possuem apenas um fluxo de saída?”, apenas o Bizagi atendeu integralmente, aplicando-se para tarefas e eventos. Vale ressaltar que essas categorias de checklist possuíam grandes índices de falhas tanto na PP2 deste trabalho quanto no catálogo de erros [8]. Quanto ao critério “O nome da piscina corresponde ao nome do processo?”, apenas o Heflo demonstrou conformidade, uma vez que transforma automaticamente o nome do arquivo no nome da piscina/processo.

A partir dessa observação, é possível concluir que nem todas as ferramentas oferecem condições adequadas para a aplicação sistemática das boas práticas de modelagem. Ainda que ferramentas mais simples possam ser úteis para introduções conceituais, a ausência de validações, restrições corretas de modelagem e ausência de feedback automático pode induzir o aluno a equívocos que comprometem a qualidade do modelo.

Por conseguinte, o coeficiente de aderência fornece subsídios importantes para a escolha de ferramentas de apoio no contexto educacional em questão, ou em casos que priorizam a aplicação de checklist de boas práticas.

#### 4.4.3 Resultados da aplicação da Média Bayesiana

A aplicação da média bayesiana nos quatro exercícios (Ex) analisados permitiu uma comparação mais justa e equilibrada entre as ferramentas, ao considerar não apenas a média das notas obtidas, mas também o volume de modelos avaliados por ferramenta. Esse método estatístico foi fundamental para evitar distorções causadas por amostras reduzidas, especialmente nos casos em que determinadas ferramentas foram utilizadas por poucos estudantes [14]. Os dados coletados estão representados tanto na Tabela 11 quanto nos gráficos das figuras 21, 22, 23, 24.

| Ferramenta         | Categorias                          | Ex. 1 | Ex. 2  | Ex. 3  | Ex. 4 |
|--------------------|-------------------------------------|-------|--------|--------|-------|
| Indicadores gerais | Total de submissões                 | 55    | 52     | 59     | 56    |
|                    | Pontuação total da turma            | 464   | 391,79 | 410,75 | 437,7 |
|                    | Média global (considerando todas as | 8,6   | 7,53   | 6,96   | 7,82  |

|            |   |        |        |        |       |
|------------|---|--------|--------|--------|-------|
|            | ferramentas)                              |        |        |        |       |
|            | Total de ferramentas utilizadas           | 6      | 5      | 5      | 5     |
|            | Parâmetro de suavização                   | 9,2    | 10,4   | 11,8   | 11,2  |
| Bizagi     | Número de notas recebidas pela ferramenta | 34     | 37     | 37     | 31    |
|            | Pontuação total                           | 298,89 | 288,83 | 272,22 | 244,2 |
|            | Média das notas da ferramenta             | 8,7    | 7,81   | 7,36   | 7,88  |
|            | Média Bayesiana                           | 8,69   | 7,75   | 7,27   | 7,86  |
| BPMN.io    | Número de notas recebidas pela ferramenta | 2      | 0      | 3      | 11    |
|            | Pontuação total                           | 17,53  | 0      | 20,35  | 85,35 |
|            | Média das notas da ferramenta             | 8,7    | 0      | 6,78   | 7,76  |
|            | Média Bayesiana                           | 8,62   | 0      | 5,63   | 7,79  |
| Drawn.io   | Número de notas recebidas pela ferramenta | 6      | 9      | 10     | 10    |
|            | Pontuação total                           | 52,15  | 65     | 59,17  | 76,5  |
|            | Média das notas da ferramenta             | 8,6    | 7,22   | 5,92   | 7,65  |
|            | Média Bayesiana                           | 8,60   | 7,39   | 6,48   | 7,74  |
| Heflo      | Número de notas recebidas pela ferramenta | 3      | 3      | 6      | 0     |
|            | Pontuação total                           | 24,25  | 22,43  | 40,64  | 0     |
|            | Média das notas da ferramenta             | 8      | 7,48   | 6,77   | 0     |
|            | Média Bayesiana                           | 8,62   | 7,52   | 6,90   | 0     |
| Lucidchart | Número de notas recebidas pela ferramenta | 3      | 2      | 2      | 3     |
|            | Pontuação total                           | 26,18  | 10,33  | 8,37   | 24,75 |
|            | Média das notas da ferramenta             | 8,7    | 5,17   | 4,19   | 8,25  |
|            | Média Bayesiana                           | 8,46   | 7,14   | 6,56   | 7,91  |
| Miro       | Número de notas recebidas pela ferramenta | 6      | 1      | 0      | 1     |

|  |                               |      |      |      |      |
|--|-------------------------------|------|------|------|------|
|  | Pontuação total               | 45,1 | 5,2  | 0    | 6,9  |
|  | Média das notas da ferramenta | 7,52 | 5,2  | 0    | 6,9  |
|  | Média Bayesiana               | 8,18 | 7,32 | 0,00 | 7,74 |

Tabela 11 - Resultados gerais da análise Bayesiana

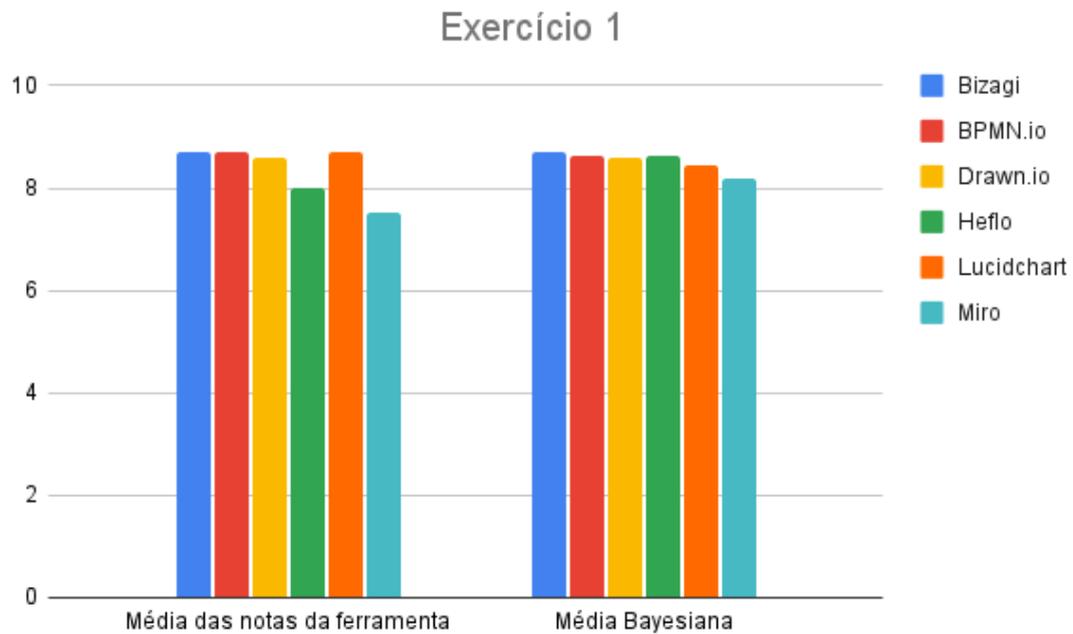


Figura 21 - Resultados da Média Bayesiana no exercício 1

Fonte: Elaboração própria.

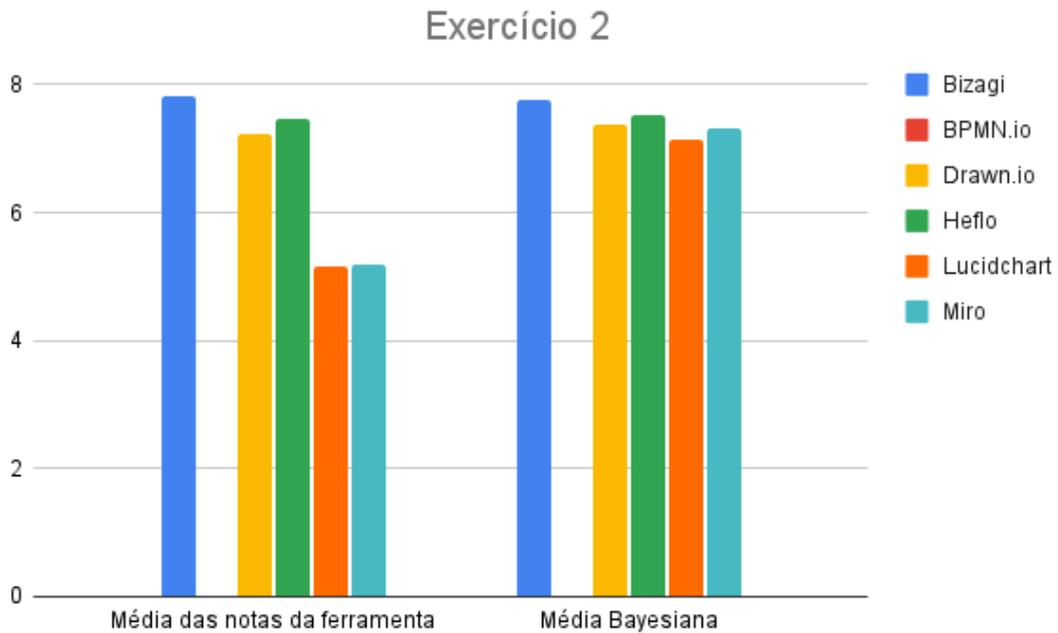


Figura 22 – Resultados da Média Bayesiana no exercício 2  
 Fonte: Elaboração própria.

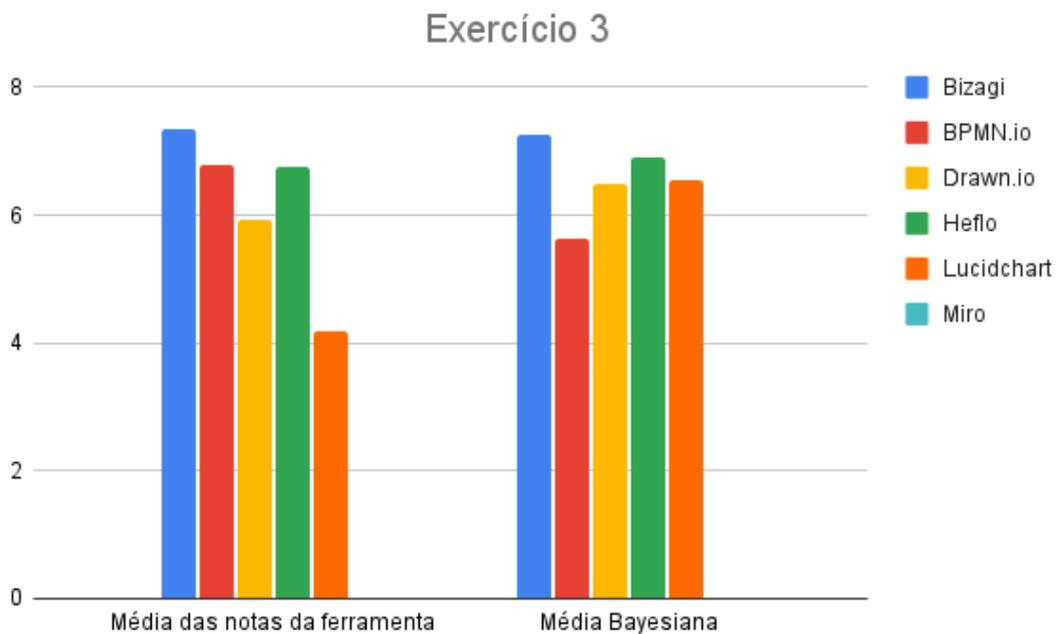


Figura 23 – Resultados da Média Bayesiana no exercício 3  
 Fonte: Elaboração própria.

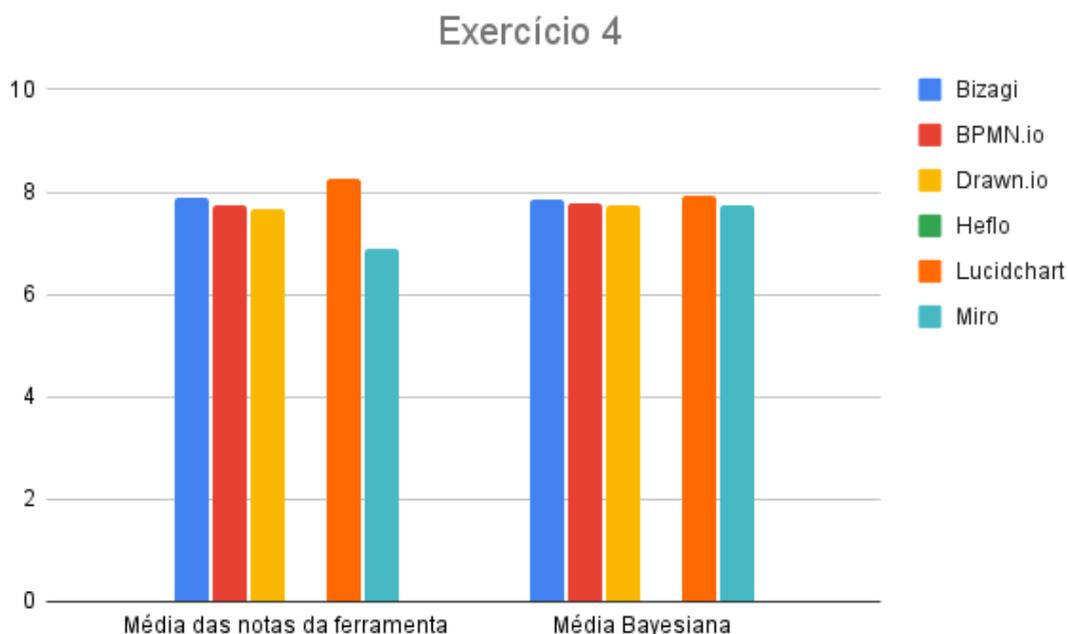


Figura 24 - Resultados da Média Bayesiana no exercício 4  
 Fonte: Elaboração própria.

De maneira geral, os resultados apontaram uma tendência de superioridade da ferramenta Bizagi ao longo dos exercícios. Em três dos quatro cenários (Exercícios 1, 2 e 3), Bizagi apresentou a maior média bayesiana ajustada, o que indica um desempenho mais consistente por parte dos estudantes que utilizaram essa ferramenta. No Exercício 4, embora LucidChart tenha registrado a maior média observada, sua amostra significativamente menor foi suavizada na análise bayesiana, fazendo com que a média ajustada da ferramenta ficasse ligeiramente acima da de Bizagi. Ainda assim, a diferença foi mínima, reforçando a estabilidade de desempenho da Bizagi ao longo do estudo.

Por outro lado, ferramentas como BPMN.io, Draw.io e Miro apresentaram desempenho menor em diferentes exercícios, mesmo nos casos em que suas médias observadas foram inicialmente altas. Após o ajuste bayesiano, observou-se que essas médias tenderam a se aproximar da média global, indicando que seu desempenho real pode ter sido inflado por amostras pequenas ou concentradas em poucos casos bem avaliados.

Neste sentido, análise global dos dados permite inferir que ferramentas mais robustas e com maior aderência ao checklist tendem a favorecer a construção de modelos de maior qualidade.

#### **4.4.4 Limitações encontradas na PP3**

Apesar dos cuidados metodológicos adotados neste estudo, algumas ameaças devem ser consideradas em relação à interpretação dos resultados obtidos. A primeira delas refere-se à desigualdade no tamanho das amostras por ferramenta. Como os estudantes puderam escolher livremente qual ferramenta utilizar, observou-se uma distribuição assimétrica entre os modelos submetidos. Ferramentas como Bizagi apresentaram maior volume de uso, enquanto outras, como Lucidchart e Miro, foram utilizadas por um número significativamente menor de participantes. Embora a aplicação da média bayesiana tenha reduzido o impacto dessa disparidade, amostras pequenas tendem a gerar estimativas estatísticas menos confiáveis e mais sensíveis a casos atípicos.

Outra limitação relevante diz respeito à variação no uso de checklist de boas práticas. Diferenças na forma como os alunos consultaram, compreenderam ou aplicaram o material pode ter afetado a incidência de falhas, interferindo assim nos resultados obtidos por ferramenta.

Importa ressaltar que tais limitações não comprometem a validade da análise, mas impõem restrições à generalização dos achados. Recomenda-se, por conseguinte, que estudos futuros busquem maior controle experimental, com distribuição equilibrada entre ferramentas e procedimentos padronizados de aplicação e acompanhamento de checklist, a fim de isolar com maior precisão o impacto de cada variável investigada.

## 5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo geral investigar os fatores que influenciam a qualidade de modelos de processos de negócio elaborados com a notação BPMN por estudantes universitários, com ênfase em três frentes de análise: o uso de um checklist de boas práticas como recurso didático, as categorias de erros mais frequentes cometidos durante a modelagem, e o papel das ferramentas de modelagem utilizadas. Para isso, foram analisados dados empíricos oriundos de múltiplos semestres da disciplina de Gestão de Processos de Negócio, totalizando dezenas de turmas, centenas de modelos, e milhares de registros de erros classificados.

As próximas seções abordarão detalhadamente as conclusões obtidas sobre cada pergunta de pesquisa levantada anteriormente.

### 5.1 Conclusão da PP1

Em relação à primeira pergunta de pesquisa — *a utilização de checklist de boas práticas como recurso didático influencia positivamente a qualidade dos modelos BPMN desenvolvidos pelos estudantes?* — a análise realizada buscou responder à pergunta de pesquisa PP1, que investigou se o uso de checklist de boas práticas como recurso didático influencia positivamente a qualidade dos modelos BPMN desenvolvidos por estudantes. Para isso, foi conduzida uma comparação entre grupos com e sem acesso ao checklist durante a elaboração dos exercícios, controlando variáveis relevantes como a complexidade dos processos (CFC), o nível de ensino associado (NEA) e a distribuição de participantes entre as turmas.

Os resultados estatísticos obtidos — tanto pelo teste t de *Student* quanto pela análise de variância (ANOVA) — não indicaram diferenças estatisticamente significativas entre os grupos analisados. Em outras palavras, não foi possível confirmar, com base nos dados desta amostra, que o uso de checklist resultou em notas significativamente superiores na avaliação dos modelos BPMN. Ainda que variações nas médias tenham sido observadas em alguns exercícios, essas diferenças não alcançaram o limiar de significância necessário para sustentar a hipótese de impacto direto de checklist sobre o desempenho.

Contudo, a ausência de significância estatística não invalida a relevância de checklist como instrumento pedagógico, especialmente quando considerado como apoio formativo e recurso para conscientização sobre boas práticas de modelagem. A análise reforça a complexidade do processo de aprendizagem em BPMN e aponta que o impacto de recursos didáticos como o checklist pode depender de múltiplas variáveis, incluindo o modo de uso, o nível de instrução

dos estudantes, a clareza das propostas de exercícios e o tempo de exposição ao recurso.

## **5.2 Conclusão da PP2**

O estudo levantado na segunda pergunta de pesquisa — *quais categorias de erros mais frequentes em modelos BPMN, mesmo após os avanços de recursos didáticos e de ferramentas de modelagem?* — permitiu um levantamento abrangente das categorias de erros mais comuns na modelagem de processos de negócio com BPMN, com base em dados empíricos coletados entre os semestres de 2022.2 e 2024.2. Os resultados demonstraram a dominância de diversos desvios já identificados em estudos anteriores, especialmente aqueles relacionados à sintaxe da notação. Esses padrões indicam que, apesar de avanços nos recursos didáticos, como o uso de checklist de boas práticas, certas dificuldades permanecem recorrentes no processo de aprendizagem. A recorrência dessas falhas aponta, também, para a necessidade de revisão e ampliação de checklist, com a inclusão de critérios que reflitam a evolução das práticas pedagógicas e as demandas reais de modelagem enfrentadas pelos estudantes.

Outro ponto relevante foi a variação na distribuição das inconsistências ao longo dos exercícios. Observou-se uma predominância de falhas de interpretação nos primeiros exercícios e um crescimento progressivo de falhas estruturais nos exercícios mais complexos, sugerindo uma relação entre o nível de maturidade dos alunos e os tipos de dificuldades enfrentadas. A esse respeito, o Nível de Ensino Associado mostrou-se uma variável útil para interpretar a trajetória formativa dos estudantes em relação aos padrões de erro identificados.

## **5.3 Conclusão da PP3**

Quanto à terceira pergunta de pesquisa — *existe relação entre a ferramenta de modelagem BPMN utilizada e a quantidade de erros cometidos?* —, os dados abordados e as médias bayesianas ajustadas dos quatro exercícios analisados afirmam que a ferramenta de modelagem BPMN utilizada influencia significativamente o desempenho dos estudantes, refletido na quantidade de erros cometidos e na qualidade geral dos modelos produzidos.

Entre as ferramentas avaliadas, a Bizagi destacou-se positivamente em todos os exercícios, apresentando as maiores médias ajustadas em três deles e mantendo desempenho estável ao longo do tempo. Sua robustez técnica e alta aderência aos critérios de checklist contribuíram diretamente para a redução de inconsistências e para a produção de modelos mais alinhados às boas práticas de modelagem.

Por outro lado, ferramentas como Draw.io, Miro e Lucidchart apresentaram os maiores índices de erro e as menores aderências ao checklist, principalmente por não oferecerem suporte automatizado à notação BPMN ou mecanismos que orientem o usuário quanto ao uso correto dos elementos. Mesmo quando a média observada dessas ferramentas parecia indiferente, o uso da média bayesiana revelou que esse desempenho era instável e frequentemente inflado por amostras pequenas.

Diante desses resultados, as evidências sustentam a hipótese de que a escolha da ferramenta impacta diretamente o desempenho do modelador, não apenas por seu conjunto de funcionalidades, mas também por sua capacidade de induzir ou prevenir falhas conforme o nível de suporte técnico oferecido. Nesse contexto, destaca-se a necessidade de melhorias nas ferramentas de modelagem BPMN, com foco em:

- Maior aderência aos critérios de boas práticas, por meio de validações automáticas e sugestões contextuais;
- Incorporação de recursos inteligentes, como assistentes virtuais baseados em IA, capazes de orientar o usuário durante a construção do modelo;
- Desenvolvimento de ambientes de modelagem orientados por regras, que favoreçam o aprendizado progressivo e reduzam a incidência de erros sintáticos e semânticos.

Cabe ressaltar que a temática sobre a integração de checklists de boas práticas como mecanismos de verificação sintática, semântica e boas práticas já havia sido discutida em estudos anteriores, conforme abordado em [8]. Na ocasião, propunha-se que tais critérios pudessem servir de base para o desenvolvimento de ferramentas mais inteligentes e pedagógicas. Entretanto, passados quase dez anos, essa recomendação ainda não foi amplamente incorporada pelas principais ferramentas de modelagem disponíveis no mercado, o que reforça a urgência de retomar essa pauta na comunidade técnica e acadêmica.

Essas melhorias não apenas têm o potencial de elevar a qualidade técnica dos modelos produzidos, mas também funcionam como instrumentos pedagógicos eficazes, capazes de ampliar a compreensão da notação BPMN e de fortalecer a formação de modeladores mais conscientes e qualificados.

Diante dos achados, conclui-se que a melhoria da qualidade dos modelos BPMN produzidos por estudantes depende de múltiplas variáveis — entre elas, a maturidade conceitual do aluno, a clareza do texto do processo de negócio, a complexidade do exercício, os recursos didáticos disponíveis (como checklist) e a ferramenta de modelagem empregada. Assim, recomenda-se que

futuras práticas pedagógicas considerem a integração desses fatores de forma articulada, com o apoio de instrumentos automatizados de validação, materiais complementares de apoio e revisões periódicas dos critérios de avaliação utilizados em sala de aula.

### **5.3 Ameaças à validade da análise**

Este estudo apresenta limitações importantes que podem comprometer a validade dos resultados. A principal ameaça refere-se à falta de controle sobre características individuais dos participantes, como experiência prévia em modelagem, familiaridade com ferramentas de diagramação, estilos de aprendizagem e níveis de motivação, que podem ter influenciado significativamente o desempenho independentemente do uso do checklist. Adicionalmente, persistem diferenças estruturais entre os dados coletados ao longo dos semestres, incluindo variações na clareza dos enunciados, contexto organizacional e grau de ambiguidade interpretativa, que não foram integralmente controladas pelas métricas CFC e NEA. Os estudantes também foram expostos a diferentes contextos de ensino, com variações na atuação de monitores, metodologias de apresentação e dinâmicas de aula, além de fatores contextuais como período de aplicação dos exercícios e proximidade com outras avaliações.

Quanto à validade externa, destaca-se a maturidade acadêmica diferenciada dos participantes, mesmo pertencendo ao mesmo período curricular, e a limitação temporal da coleta de dados (2022.2 a 2024.2), período que coincidiu com a consolidação pós-pandemia do ensino presencial, podendo afetar a generalização dos achados para outros contextos.

### **5.4 Trabalhos Futuros**

A presente pesquisa contribuiu para o entendimento dos fatores que impactam a qualidade de modelos BPMN produzidos por estudantes em contexto educacional. No entanto, os resultados obtidos e as limitações enfrentadas ao longo da análise revelam oportunidades para aprofundamentos em estudos futuros.

Em primeiro lugar, recomenda-se o refinamento e evolução do *framework* de avaliação proposto, estabelecendo protocolos rigorosos de controle e padronização dos procedimentos e materiais de ensino utilizados antes da criação dos modelos pelos estudantes. Isso inclui a implementação de instrumentos sistematizados para coleta de dados que permitam caracterizar adequadamente os perfis dos participantes, abrangendo aspectos como experiência prévia em modelagem de processos, familiaridade com ferramentas de diagramação, estilos de aprendizagem predominantes, níveis de motivação e habilidades de interpretação textual. Adicionalmente, sugere-se

a padronização dos enunciados dos exercícios em termos de complexidade, clareza e contexto organizacional, bem como o estabelecimento de critérios uniformes para a condução das aulas, incluindo metodologias de apresentação, exemplos utilizados e dinâmicas de esclarecimento de dúvidas. Tais melhorias possibilitariam maior controle sobre variáveis intervenientes e contribuiriam para a obtenção de resultados mais robustos e generalizáveis sobre a eficácia de ferramentas didáticas no ensino de modelagem de processos de negócio.

Em segundo lugar, destaca-se a necessidade de desenvolver e aplicar instrumentos automatizados de verificação de boas práticas em ferramentas de modelagem. A aplicação manual dos critérios de checklist demanda tempo e está sujeita à subjetividade do avaliador. A criação de extensões, plug-ins ou Agent Builders de Inteligência Artificial para softwares de modelagem que integrem os critérios de avaliação em tempo real poderá contribuir para a padronização das avaliações e para o feedback formativo imediato aos estudantes durante o processo de modelagem.

Além disso, a investigação longitudinal do aprendizado dos alunos ao longo dos semestres poderia oferecer uma perspectiva mais ampla sobre a consolidação dos conceitos de BPMN. O presente trabalho concentrou-se em exercícios pontuais de uma disciplina semestral, mas não avaliou a retenção de conhecimento ou a evolução das habilidades ao longo do curso. Estudos longitudinais seriam úteis para mapear a curva de aprendizagem e identificar os momentos mais críticos para a intervenção pedagógica.

No tocante aos erros observados, propõe-se a revisão e expansão de checklist atualmente utilizado, com base nos novos padrões de erro identificados nesta pesquisa. A sistematização desses critérios poderá resultar em uma nova versão do catálogo, mais aderente ao contexto atual de ensino e mais alinhada às atualizações da notação BPMN 2.0. A validação desse novo catálogo, por meio de estudos com diferentes públicos e instituições, também configura uma linha promissora de investigação.

Cabe ressaltar que o aprimoramento do checklist ao longo dos anos influenciou diretamente a sensibilidade e o grau de exigência da avaliação e continuará influenciando. A adição de novos critérios, mais específicos e orientados a práticas reais, resultou em um instrumento avaliativo mais rigoroso, o que, por sua vez, ampliou o escopo da observação e permitiu o registro de um número maior de erros. Nesse sentido, parte do aumento da frequência de determinadas falhas pode estar associada não a uma deterioração no desempenho dos discentes, mas à evolução da capacidade diagnóstica da metodologia de correção adotada.

Essa discussão suscita oportunidades para novos estudos e evolução do sistema de avaliação de modelos BPMN. À medida que o checklist incorpora critérios adicionais, as correções tornam-se mais rigorosas.

Sugere-se o desenvolvimento de uma proposta de atribuição de pontuação que considere a importância relativa dos erros identificados, de modo que nem todos possuam o mesmo peso avaliativo. Tal abordagem permitiria equilibrar a quantidade de erros detectados, considerando também a recorrência de determinadas falhas no processo de avaliação.

Por fim, sugere-se explorar o impacto das ferramentas de modelagem sob uma perspectiva qualitativa, por meio de entrevistas com estudantes e docentes. Essa abordagem pode revelar percepções, dificuldades e preferências não capturadas pelas análises quantitativas, permitindo uma compreensão mais aprofundada do papel das interfaces, dos recursos e das limitações das ferramentas no processo de aprendizagem.

Essas propostas visam fortalecer o campo de pesquisa sobre ensino de modelagem de processos e fornecer subsídios para a melhoria contínua das práticas pedagógicas, dos instrumentos avaliativos e das tecnologias de apoio à formação de profissionais capazes de modelar, analisar e otimizar processos de negócio com precisão e competência.

## 6. REFERÊNCIAS

[1] OVERES, Eduardo; SANTORO, F. M. *The effectiveness of business process visualisations: a systematic literature review*. *arXiv preprint*, 15 abr. 2025. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/390811622\\_The\\_Effectiveness\\_of\\_Business\\_Process\\_Visualisations\\_a\\_Systematic\\_Literature\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/390811622_The_Effectiveness_of_Business_Process_Visualisations_a_Systematic_Literature_Review). Acesso em: 24 jul. 2025.

[2] OBJECT MANAGEMENT GROUP (OMG). *Business Process Model and Notation (BPMN)*, Version 2.0. Needham: OMG, 2013. Disponível em: <https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/>. Acesso em: 24 jul. 2025.

[3] ABPMP. *Guia para o gerenciamento de processos de negócio: corpo comum de conhecimento (BPM CBOK)*. 3.0 ed. São Paulo: ABPMP Brasil, 2013. Disponível em: [https://ep.ifsp.edu.br/images/conteudo/documentos/biblioteca/ABPMP\\_CBOK\\_Guide\\_\\_Portuguese.pdf](https://ep.ifsp.edu.br/images/conteudo/documentos/biblioteca/ABPMP_CBOK_Guide__Portuguese.pdf). Acesso em: 24 jul. 2025.

[4] MASLOV, Iliia. *Towards empirically validated process modelling education using a BPMN formalism*. In: GUIZZARDI, R.; RALYTE, J.; FRANCH, X. (Eds.). *Research challenges in information science*. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/360599290\\_Towards\\_Empirically\\_Validated\\_Process\\_Modelling\\_Education\\_Using\\_a\\_BPMN\\_Formalism](https://www.researchgate.net/publication/360599290_Towards_Empirically_Validated_Process_Modelling_Education_Using_a_BPMN_Formalism). Acesso em: 24 jul. 2025.

[5] ROZMAN, Tomislav; POLANČIČ, Gregor. *Analysis of most common process modelling mistakes in BPMN process models*. In: \_\_\_\_\_. *Proceedings of an International Conference*. Maribor: University of Maribor, 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/280527351>. Acesso em: 24 jul. 2025.

[6] DUMAS, Marlon; LA ROSA, Marcello; MENDLING, Jan; AALST, Wil M. P. van der. *Fundamentals of business process management*. Heidelberg: Springer, 2013. ISBN 978-3-642-33142-8.

[7] MORENO-MONTES DE OCA, Isel; SNOECK, Monique; REIJERS, Hajo A.; RODRÍGUEZ-MORFFI, Abel. *A systematic literature review of studies on business process modeling quality*. Information and Software Technology, [S.l.]. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2014.07.011>. Acesso em: 24 jul. 2025.

[8] FRANCO, Cynthia Raphaella da Rocha. *Um catálogo de boas práticas, erros sintáticos e semânticos em modelos BPMN*. 2014. 63 f. Trabalho de Graduação (Bacharelado em Ciência da Computação) –

Centro de Informática, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014. Disponível em: <https://www.cin.ufpe.br/~tg/2013-2/crrf.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2025.

[9] *GUIA SIMPLIFICADO DE BOAS PRÁTICAS EM MODELAGEM DE PROCESSOS COM BPMN*. [S. l.: s.n.], 2019. 28 p. Disponível em: <https://www.ufmg.br/dti/wp-content/uploads/2019/01/POP-0001-ANEXO-A-Guia-simplificado-de-boas-praticas-em-modelagem.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2025.

[10] CIGANA, Raphael Piegas. *Um experimento controlado sobre o uso de boas práticas na modelagem de processos*. 2018. 65 f. Monografia (Bacharelado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/190148/001088759.pdf?sequence=1> Acesso em: 24 jul. 2025.

[11] RECKER, Jan. *Opportunities and constraints: The current struggle with BPMN*. Business Process Management Journal, v. 16, n. 1, p. 181-201, 2010. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/27478001\\_Opportunities\\_and\\_constraints\\_The\\_current\\_struggle\\_with\\_BPMN](https://www.researchgate.net/publication/27478001_Opportunities_and_constraints_The_current_struggle_with_BPMN). Acesso em: 24 jul. 2025.

[12] GANIARDI, Muhammad Aris et al. *Collaboration of Business Process Modeling Notation and Rational Unified Process in Blended Learning System Development*. In: HUSNI, N. L. et al. (Org.). Proceedings of the 7th FIRST 2023 International Conference on Global Innovations (FIRST-ESCSI 2023). [S. l.: s.n.], 2024. p. 373-385. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/378511089\\_Collaboration\\_of\\_Business\\_Process\\_Modeling\\_Notation\\_and\\_Rational\\_Unified\\_Process\\_in\\_Blended\\_Learning\\_System\\_Development](https://www.researchgate.net/publication/378511089_Collaboration_of_Business_Process_Modeling_Notation_and_Rational_Unified_Process_in_Blended_Learning_System_Development). Acesso em: 24 jul. 2025.

[13] ZHOU, Changhong et al. *Business Process Complexity Measurement: A Systematic Literature Review*. IEEE Access, 2023. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3275764. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3275764>. Acesso em: 15 mai. 2025.

[14] COLES, Stuart; RIBEIRO JUNIOR, Paulo Justiniano. *Inferência Estatística: Introdução à Inferência Bayesiana*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Departamento de Estatística, Laboratório de Estatística e Geoinformação, 2024. Disponível em: <http://www.leg.ufpr.br/lib/exe/fetch.php/%20disciplinas:ce227:inferenciabayesiana.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2025.

[15] IVANCHIKJ, Ana; SERBOUT, Souhaila; PAUTASSO, Cesare. *From Text to Visual BPMN Process Models: Design and Evaluation*. In: ACM/IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODEL DRIVEN ENGINEERING LANGUAGES AND SYSTEMS, 23., 2020, Montreal, QC, Canada. Proceedings of the ACM/IEEE 23rd International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS '20). Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/348609497\\_From\\_text\\_to\\_visual\\_BPMN\\_process\\_models\\_design\\_and\\_evaluation](https://www.researchgate.net/publication/348609497_From_text_to_visual_BPMN_process_models_design_and_evaluation). Acesso em: 03 ago. 2025

[16] SANTOS, Simone C. dos; VILELA, Jéssyka; VASCONCELOS, Alexandre. *Promoting professional competencies through interdisciplinary PBL: an experience report in computing higher education*. In: FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE (FIE), 2023. Anais [...]. [S. l.]: IEEE, 2023. p. 1–9. DOI: 10.1109/FIE58773.2023.10343050. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10343050>. Acesso em: 3 ago. 2025.

[17] GBTEC. BPMN – *Business Process Model and Notation*. Disponível em: <https://www.gbtec.com/wiki/process-management/bpmn/>. Acesso em: 3 ago. 2025.

[18] NOBRE, Matheus Ribeiro Brant; VILELA, Jéssyka; BARROS, Lucas Migge de. *Model quality and student satisfaction in BPMN education: a quasi-experiment*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER SUPPORTED EDUCATION – CSEDU 2025, 17., 2025, Angers. Proceedings [...]. Setúbal: SCITEPRESS – Science and Technology Publications, 2025. p. 620–627. DOI: 10.5220/0013483100003932. Disponível em: <https://doi.org/10.5220/0013483100003932>. Acesso em: 3 ago. 2025.

[19] BUCKLEY, Patrick; DOYLE, Elaine. *Publication trends in gamification: a bibliometric and content analysis of research output 2011–2021*. Computers & Education, [S. l.], v. 191, p. 104641, 2023. DOI: 10.1016/j.compedu.2022.104641. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104641>. Acesso em: 3 ago. 2025.

[20] SCHMIDT, Rainer; RITTGEN, Peter; HATHAT, Chandrakant; HUNGERLAND, Wladimir. *Gamification of business process modeling education*. In: HAUßER, Wilhelm et al. (org.). Wirtschaftsinformatik 2021 Proceedings. [S. l.]: AIS Electronic Library (AISeL), 2021. p. 1–16. Disponível em: <https://aisel.aisnet.org/wi2021/track03/papers/6>. Acesso em: 3 ago. 2025.

- [21] BIZAGI. *Bizagi Modeler: modelagem de processos de negócio*. [S. d.]. Disponível em: <https://www.bizagi.com/pt/plataforma/modeler>. Acesso em: 3 ago. 2025.
- [22] BPMN.IO. *BPMN.io: BPMN toolkit for the web*. [S. d.]. Disponível em: <https://bpmn.io>. Acesso em: 3 ago. 2025.
- [23] DRAW.IO. *Draw.io: Diagrams for everyone, everywhere*. [S. d.]. Disponível em: <https://draw.io>. Acesso em: 3 ago. 2025.
- [24] LUCIDCHART. *Lucidchart: Ferramenta de diagramação inteligente*. [S. d.]. Disponível em: <https://www.lucidchart.com/pages/pt>. Acesso em: 3 ago. 2025.
- [25] HEFLO. *HEFLO: Software de modelagem e automação de processos*. [S. d.]. Disponível em: <https://www.heflo.com/pt-br>. Acesso em: 3 ago. 2025.
- [26] MIRO. *Miro: Plataforma de colaboração visual*. [S. d.]. Disponível em: <https://miro.com/index/>. Acesso em: 3 ago. 2025.
- [27] STUART, Elizabeth A. *Matching methods for causal inference: A review and a look forward*. *Stat Sci.*, [S. l.], v. 25, n. 1, p. 1-21, fev. 2010. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2943670/>. Acesso em: 3 ago. 2025.
- [28] CAZORLA, Irene Mauricio; SANTANA, Eurivalda Ribeiro dos Santos; UTSUMI, Miriam Cardoso. *O campo conceitual da média aritmética: uma primeira aproximação conceitual*. *Revista Eletrônica de Educação Matemática*, [S. l.], set. 2019. DOI: 10.5007/1981-1322.2019.e62827. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/336112582>. Acesso em: 3 ago. 2025.
- [29] MORENO, Luisa Zanolli; MORCILLO, André Moreno. *Comparação de duas Médias: Teste t de Student*. Campinas, SP: [s.n.], 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.30657.51045. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/335988592>. Acesso em: 3 ago. 2025.
- [30] ANJOS, A. dos. *Análise de Variância*. In: ANJOS, A. dos. *Análise de Variância*. [S. l.]: [s.n.], [s.d.]. Capítulo 7, p. 109-118.
- [31] FM2S. *Estatística Inferencial*. Blog FM2S, [S. l.], [20--]. Disponível em: <https://www.fm2s.com.br/blog/estatistica-inferencial>. Acesso em: 3 ago. 2025.

## **APÊNDICE A – Link para repositório do projeto**

Este apêndice apresenta o link para o repositório do projeto desenvolvido como parte deste trabalho, contendo a base de dados utilizadas nas análises estatísticas, scripts, códigos-fonte, modelos ou qualquer outro material complementar.

Repositório disponível em:  
<https://github.com/Jailsonsdsgt-bpmn-data-collection>